This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

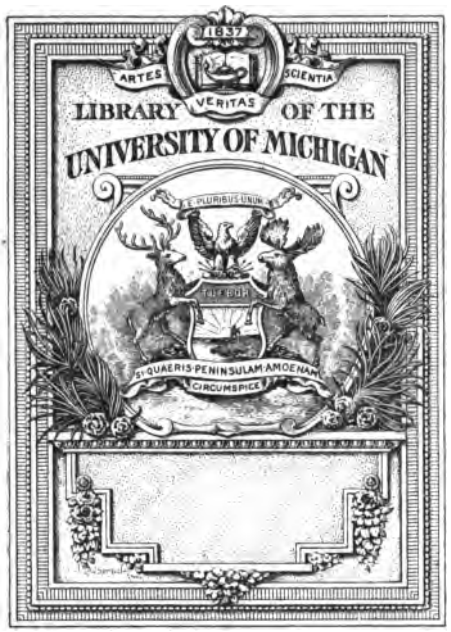
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.


1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

QC.
33
.S38

Verlag von **Johann Ambrosius Barth** in **Leipzig.**

Der **Erste Band**

VIII, 171 Seiten mit 230 Abbildungen M. 3.60, geb. M. 4.40.

erschien im Herbst 1905.

Die **Naturwissenschaftliche Wochenschrift** schreibt darüber: Das französische Werk, das dieser deutschen Bearbeitung ursprünglich zugrunde gelegt wurde, ist im Auftrage der Société française de physique unter Mitwirkung von nicht weniger als 172 Physikern für die neuerdings bei unseren Nachbarn eingeführten Übungen verfaßt worden. Da dieses Originalwerk aber die verschiedenen Versuche in sehr ungleichmäßiger Weise behandelt, so war eine fast völlige Neugestaltung nötig, um den deutschen Bedürfnissen gerecht zu werden. Dieselbe ist, soweit dieser erste, die Mechanik, Akustik und Wärme behandelnde Teil zu beurteilen erlaubt, ganz vorzüglich gelungen. 223 Versuche meist allereinfachster Art sind kurz, aber ausreichend klar beschrieben und gestatten eine außerordentliche Fülle eigener Beobachtungen des Schülers über die wichtigsten Erscheinungen und Gesetze. Vorangeschickt ist ein 18 Seiten langer Abschnitt über Werkstattarbeiten, der manchen nützlichen Wink enthält, aber natürlich persönliche Unterweisung nicht entbehrlich zu machen bestimmt ist.

BOLTZMANN, L., Populäre Schriften. [VIII, 438 S.] 1905. M. 8.—, geb. M. 9.—.

Physikalische Zeitschrift: Daß die Lektüre des Werkes jedem Leser unserer Zeitschrift genußreiche Stunden bereiten wird, bedarf wohl kaum der Versicherung. Vorträge über grundlegende Fragen der exakten Wissenschaften, Gedächtnisreden auf Kirchhoff, Stefan, Loschmidt, Erörterungen über philosophische Gegenstände und last not least die Reise eines deutschen Professors ins Eldorado voll köstlichen Humors, Ernst und Scherz in geistvollem Geplauder vermengend, das alles zieht an dem Leser vorüber, auch Überraschungen harren desselben, die aber hier nicht verraten werden sollen. Muß der Referent jetzt noch versichern, daß die populären Schriften Boltzmanns auch in den Händen der übrigen Leser sein sollten?

CHRISTIANSEN-MÜLLER, Elemente der theoretischen Physik, von Prof. C. Christiansen in Kopenhagen, deutsch herausgegeben von Dr. Johannes Müller in Bremen. Zweite, verbesserte und erweiterte Auflage. [XII, 532 Seiten mit 160 Figuren.] 1903. M. 10.—, geb. M. 11.—.

Es wird in den beteiligten Kreisen mit Freude begrüßt werden, daß von dem vortrefflichen Buche eine neue Auflage erschien. Da dieselbe erweitert und bedeutend verbessert ist, wird sie noch größere Verbreitung finden als die erste Auflage. Die jungen Physiker und Mathematiker werden durch das Buch bei ihren Studien wesentlich gefördert.

EBERT, H., Magnetische Kraftfelder. Die Erscheinungen des Magnetismus, Elektromagnetismus und der Induktion, dargestellt auf Grund des Kraftlinien-Begriffes. Zweite, vollkommen neu bearbeitete Auflage. 8°. [XII, 415 Seiten mit 167 Abbildungen im Text.] 1905. M. 7.—, geb. M. 8.—

Zeitschr. f. d. österr. Gymnasien: Das vorliegende Buch stellt wohl von allen bisher erschienenen Schriften über denselben Gegenstand eine der besten Entwickelungen des neuesten Standes der theoretischen Elektrizitätslehre auf mechanischer Grundlage dar.

Zeitschr. f. d. physikal. u. chem. Unterr.: Völlig überflüssig wäre es, die Fachgenossen auf den hervorragenden Wert des vorliegenden Werkes noch besonders hinzuweisen. Ist es doch die beste wissenschaftliche Rüstkammer für die Entscheidung der jetzt im Vordergrunde stehenden methodischen Frage, wie und in welchem Umfang der Kraftlinienbegriff in dem physikalischen Unterricht der verschiedenen höheren Lehranstalten zu verwerten sei.

EBERT, Prof. Dr. H., Anleitung zum Glasblasen. Dritte, völlig umgearbeitete Auflage. [XII, 120 Seiten mit 68 Abbildungen.] 1904. M. 2.40, geb. M. 3.—

Zeitschr. f. physikal. u. chem. Unterricht: Man findet hier eine aus der praktischen Unterrichtstätigkeit im Laboratorium hervorgegangene meisterhafte Unterweisung im Glasblasen, die in fünf Übungsstufen fortschreitend alle Glasbläserarbeiten lehrt, die ein Physiker oder Chemiker verstehen muß. Für die Arbeiten in der physikalischen Werkstätte der Schule reichen die Fertigkeiten aus, die auf den ersten drei Stufen gelehrt werden. Wer sich aber mit elektrischen Endladungserscheinungen in gasverdünnten Räumen beschäftigen will, der tut gut usw.

ERHARD, TH., Einführung in die Elektrotechnik. Die Erzeugung starker elektrischer Ströme und ihre Anwendung zur Kraftübertragung. 2. Auflage. [VIII, 200 Seiten mit 99 Abbildungen.] 1903. M. 4.50, geb. M. 5.50.

Das vorliegende Buch soll angehenden Ingenieuren in kurzer Form und genügend begründet die Hauptsätze vorführen, auf denen die heutige Starkstromtechnik beruht, und gewissermaßen die Mitte halten zwischen einerseits denjenigen Werken, welche, für die Bedürfnisse ausführender Elektrotechniker geschrieben, tief in die Einzelheiten des Gebietes eingehen, und andererseits denjenigen Büchern, welche, von den geringsten Vorkenntnissen ausgehend, für den Ingenieur zu wenig bieten.

GIBBS, J. Willard, Elementare Grundlagen der statistischen Mechanik, entwickelt besonders im Hinblick auf eine rationelle Begründung der Thermodynamik. Deutsch bearb. v. Ernst Zermelo. [XI, 216 S.] 1905. M. 10.—; geb. M. 11.—.

Verlag von Johann Ambrosius Barth in Leipzig.

HOFMANN, KARL, Die radioaktiven Stoffe nach dem neuesten Stande der wissenschaftlichen Erkenntnis. 2. Auflage. [76 Seiten.] 1904. M. 2.—.

Die Entdeckung der radioaktiven Elemente bedeutet einen Schritt in vorher vollkommen unbekannte Gebiete der Physik und Chemie. Prof. Hofmann, der sich von Beginn an mit diesem hochinteressanten Zweige der physikalisch-organischen Wissenschaft beschäftigt hat, gibt eine Zusammenstellung der Literatur und der Forschungsresultate dieser merkwürdigen Substanzen und es lohnt sich, sich der guten Führung dieses wohlgelungenen Werkchens anzuvertrauen. Die 2. Aufl. ist wesentlich erweitert und verbessert.

LOMMEL, E. von, Lehrbuch der Experimentalphysik. 10. u. 11. Auflage, herausgegeben von Prof. Dr. **Walter König.** gr. 8°. [X, 596 Seiten mit 424 Fig. und 1 Spektraltafel.] 1904. M. 6.40; geb. M. 7.20.

Ein Buch, das in 11 Jahren elf starke Auflagen erlebt, bedarf keiner besonderen Empfehlung mehr. Es ist an den meisten Hochschulen eingeführt und für das Examen und Selbststudium der praktischste Führer.

Elektrotechn. Zeitschrift: Die Grundlehren der Physik werden ohne weitläufige mathematische Entwickelungen dem heutigen Standpunkte unserer Kenntnisse entsprechend allgemeinverständlich dargestellt. Es werden nur elementare mathematische Kenntnisse vorausgesetzt. Das Buch ist in seiner Art sehr vorzüglich und kann auch zum Selbststudium empfohlen werden.

LORENTZ, H. A., Lehrbuch der Physik zum Gebrauche bei akademischen Vorlesungen. Nach der vierten, von H. A. Lorentz und L. H. Siertsema bearbeiteten Auflage und unter Mitwirkung des Verfassers aus dem Holländischen übersetzt von G. Siebert. Erster Band. [V, 482 Seiten mit 236 Abbildungen.] 1906. M. 8.—, geb. M. 9.—.

Dieses Buch ist aus den Vorlesungen über Elementarphysik an der Leidener Universität entstanden und, was Inhalt und Umfang betrifft, insbesondere den Bedürfnissen der Studierenden der Medizin, angepaßt; was darüber hinausgeht, ist durch kleineren Druck von dem übrigen unterschieden. Das Buch dürfte in der Darstellung von der in anderen Lehrbüchern ähnlicher Art befolgten hinreichend abweichen, um das Erscheinen einer Übersetzung zu rechtfertigen.

Der zweite (Schluß-) Band soll noch im Jahre 1906 erscheinen.

MACH, E., Populär-wissenschaftliche Vorlesungen. 3. verm. Auflage. [XII, 403 Seiten mit 60 Abbildungen.] 1903. M. 6.—, geb. M. 6.80.

Naturwissenschaftliche Wochenschrift: Die geistreichen Vorträge des trefflichen Gelehrten gehören zu dem Gediegensten, was die Literatur in diesem Genre besitzt. Sie stehen auf derselben Stufe, wie etwa Helmholtz' Vorträge.

POGGENDORFF's Biographisch-litterarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften, enthaltend Nachweisungen über Lebensverhältnisse und Leistungen von Mathematikern, Astronomen, Physikern, Chemikern, Mineralogen, Geologen, Geographen u. s. w. aller Völker und Zeiten. 4 Bde. (bis 1904 reichend). Lex. 8. 1863—1904. M. 157.—; geb. M. 171.—

Über den Nutzen des Werkes ist kaum etwas hinzuzufügen nötig. Nicht nur wer in einer der exakten Wissenschaften selbst arbeitet, sondern auch wer sich historisch orientieren will, wird es als ein unentbehrliches Hilfsmittel schätzen.

SCHLOEMILCHs Handbuch der Mathematik. 2. Aufl. Herausgegeben von Prof. Dr. **R. Henke** und Dr. **R. Heger.** 3 Bände. [Mit vielen Abbildungen im Text und auf Tafeln. 1904.] à M. 20.—; geb. M. 22.50.

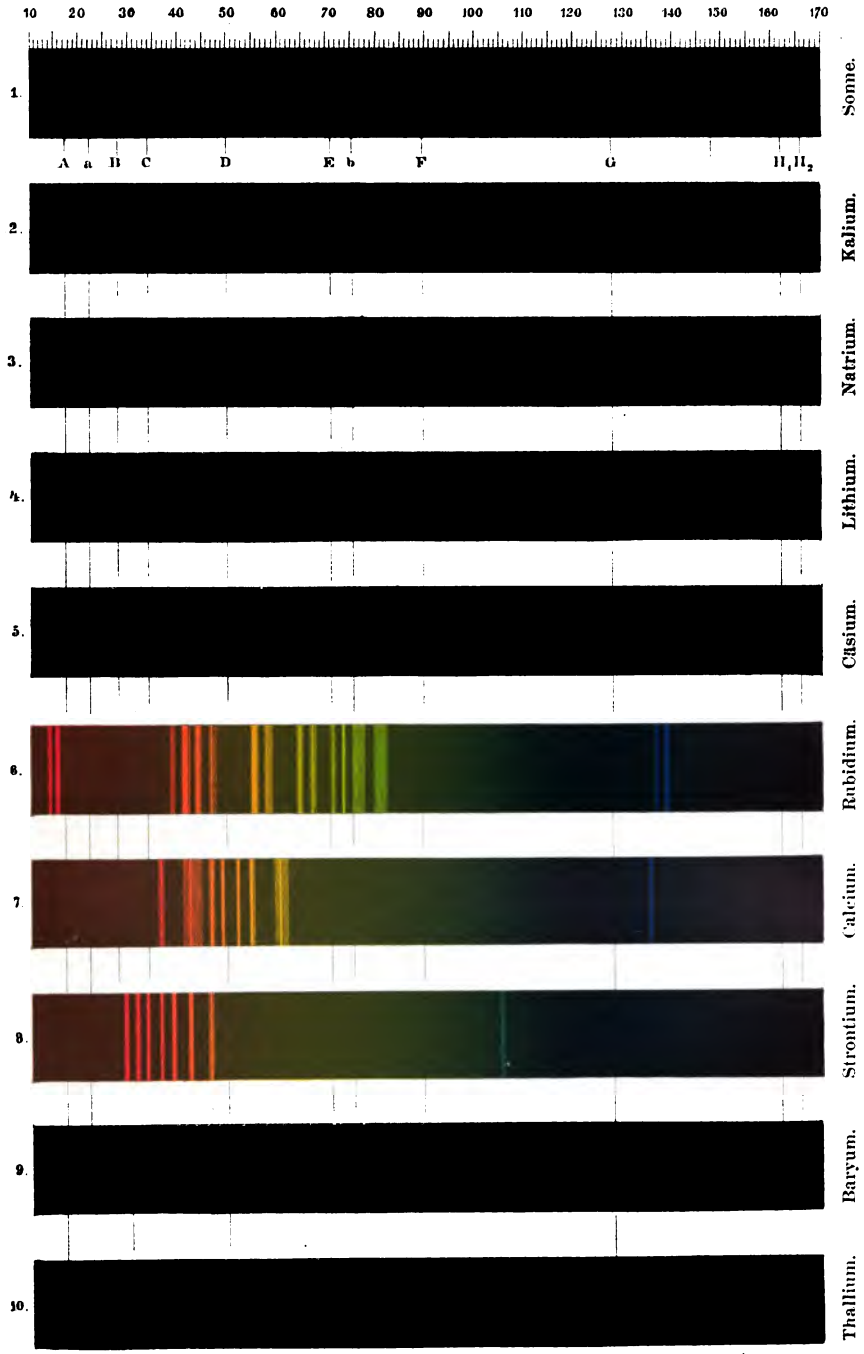
I. Band. Elementarmathematik. II. Band. Höhere Mathematik. I. Teil. III. Band. Höhere Mathematik. II. Teil.

Zeitschrift für österr. Gymnasien: Wir glauben, daß das Buch für das Selbtstudium auch schwieriger Partien der elementaren und höheren Mathematik sich sehr gut eignen wird. Die Verf. mußten zu diesem Zwecke manche Partie breiter gestalten, als es in einer Abhandlung möglich ist und es mußten auch mehrfach Wiederholungen eintreten. Die Klarheit der Darstellung, die mannigfache Unterstützung des Textes durch sehr gelungen ausgeführte Figuren und Tafeln, wie sich diese auf die darstellende Geometrie beziehen, werden jedenfalls zur Erreichung des angestrebten Zweckes beitragen.

RAMSAY, SIR WILLIAM, Einige Betrachtungen über das periodische System der chemischen Elemente. Vortrag, gehalten auf der 75. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Kassel. [29 Seiten und 1 Abbildung.] 1903. M. 1.—.

Ztschr. für phys. Chemie: Wie bekannt, hat Ramsay der großen Zahl seiner fundamentalen Entdeckungen eine höchst unerwartete neue hinzugefügt: die fortdauernde Bildung von Helium aus Radium. Man wird daher mit dem lebhaftesten Interesse in diesem Vortrage das Nähere hierüber, sowie über die allgemeinen Betrachtungen entnehmen, welche diese Tatsache bei dem geistvollen englischen Forscher ausgelöst hat.

Spektraltafel.



EXPERIMENTIERENDE PHYSIK

VON

DR. K. SCHREBER UND DR. P. SPRINGMANN

ZUGLEICH VOLLSTÄNDIG UMGEARBEITETE, DEUTSCHE AUSGABE

VON HENRI ABRAHAM'S

RECUEIL D'EXPÉRIENCES ÉLÉMENTAIRES DE PHYSIQUE

II. BAND

MIT 450 ABBILDUNGEN UND EINER SPEKTRALTAFEL

LEIPZIG

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH

1906

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Vorwort.

Die im Vorwort zum ersten Band erwähnte Notwendigkeit, daß den Schülern der höheren Lehranstalten Gelegenheit geboten wird, selbständig zu experimentieren und zu beobachten, hat inzwischen einen sehr treffenden Ausdruck gefunden in dem Bericht über die Verhandlungen über die beste Einrichtung des naturwissenschaftlichen Unterrichtes auf höheren Schulen, welche von der hierfür eingesetzten Kommission der Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte in Meran erstattet worden ist. Durch die Art, wie wir in den „Schreibtischarbeiten", der Einleitung zum vorliegenden zweiten Band, Anleitung geben, aus den Beobachtungen das diesen zugrunde liegende Naturgesetz zu entwickeln, hoffen wir auch, den in demselben Bericht gestellten Forderungen der Erziehung zur Gewöhnung an funktionales Denken entgegengekommen zu sein, die sich im physikalischen Unterricht jedenfalls leichter und anschaulicher erfüllen lassen, als im rein mathematischen.

Daß die Schüler gern selbständig experimentieren, auch unter Aufsicht von Lehrern, zeigt die große Zahl von Schülern, welche nach der Zusammenstellung in der Zeitschrift für physikalischen und chemischen Unterricht 18, Seite 382, an den nicht obligatorischen Übungsstunden teilnehmen. Möge auch der vorliegende zweite Band unseres Buches dieses Interesse unterstützen und vermehren.

Die Hinweise auf frühere Stellen sind, soweit sie den zweiten Band betreffen, ebenso eingerichtet wie im ersten; betreffen sie den ersten Band, so sind sie durch eine vor die Nummer gesetzte I gekennzeichnet.

Die Leser des ersten Bandes bitten wir, in der Tabelle der spezifischen Gewichte I, 155 die für Ammoniak und Chlorwasserstoff gegebenen Zahlen miteinander zu vertauschen und im vorliegenden Band Seite 251 Zeile 14 von oben zu lesen 210, s.

Dresden und Stettin, im März 1906.

Die Verfasser.

162125

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Schreibtischarbeiten 1

II. Optik.

Ausbreitung und Photometrie 34
Reflexion 40
Brechung 47
Optische Instrumente 62
Farbenlehre 67
Lichtwellen 81
Physiologische Optik 95

III. Elektrizität und Magnetismus.

Magnetismus 102
Elektrostatik 125
Konstanter Strom. Chemische und Wärmewirkungen . . . 186
Elektromagnetismus 247
Induktion 271
Elektrotechnik 295

Tabellen 327

Stichwörterverzeichnis 346

I. Schreibtischarbeiten.

1. Aufgabe der Physik. 1. Alle physikalischen Vorgänge bestehen darin, daß sich gleichzeitig mit einer meßbaren Größe eine oder mehrere andere, ebenfalls meßbare Größen derart ändern, daß jedem Wert der ersteren in ganz gesetzmäßiger Weise ein bestimmter Wert der anderen zugehört. Aufgabe der Physik ist es, diese Gesetzmäßigkeit derart festzustellen, daß, wenn man einen Wert der einen Größe willkürlich gibt, man sofort den zu diesem gehörigen Wert der anderen anzugeben in der Lage ist, ohne daß man eine besondere Beobachtung vorzunehmen genötigt ist, daß man also den Wert der anderen „vorhersagen" kann. Es habe z. B. die Beobachtung gelehrt, daß ein Kupferstab bei der Erwärmung um 1^0 Celsius sich stets um 0,000017 seiner Länge ausdehnt; hat man nun die Länge eines Kupferstabes bei einer Temperatur zu 7,802 m festgestellt, so ist bei einer um 327^0 heißeren Temperatur die Länge des Stabes 7,845 m. Bezeichnet man jene, Ausdehnungskoeffizient des Kupfers genannte, Zahl 0,000017 zur Abkürzung mit α, so hat also die Beobachtung gelehrt, daß die Länge l eines Kupferstabes, welcher bei der Temperatur des schmelzenden Eises die Länge l_0 hat, bei der nach der Celsiusskala zu messenden Temperatur t zu berechnen ist nach der Gleichung

$$l = l_0(1 + \alpha t).$$

Diese Gleichung gibt uns die gesetzmäßige Abhängigkeit der Länge des Stabes von seiner Temperatur. Man bezeichnet diese Abhängigkeit durch die Worte: „die Länge des Stabes ist eine Funktion der Temperatur" und schreibt sie abgekürzt in der Form

$$l = f(t).$$

Ist es nicht die Temperatur, sondern irgendeine andere physikalische Größe, welche den Wert irgendeiner zweiten Größe bestimmt, so bezeichnet man die erstere meist mit x, die letztere mit y und schreibt

$$y = f(x),$$

gelesen: y ist eine Funktion von x.

Die beiden Größen x und y nennt man die Veränderlichen und zwar, wenn x diejenige ist, durch deren Wert y bestimmt wird, x

die unabhängige oder willkürliche, y die abhängige Veränderliche. In dem obigen Beispiel würde die Temperatur die unabhängige, die Länge des Stabes die abhängige Veränderliche sein.

Diese Unterscheidung in abhängige und unabhängige Veränderliche ist aber unwesentlich. Wir können die obige Aufgabe auch so stellen: bei der Temperatur des schmelzenden Eises hat ein Kupferstab die Länge 7,802 m, bei welcher Temperatur hat er die Länge 7,845 m, wenn 0,000017 der Ausdehnungskoeffizient ist? In dieser Fassung ist die Temperatur die abhängige und die Länge die unabhängige Veränderliche, d. h. wir können die Gleichung auch schreiben

$$t = F(l),$$

die Temperatur ist eine Funktion der Länge.

Diese Umkehrung gilt ganz allgemein; jeder Gleichung $y = f(x)$ entspricht eine Gleichung $x = F(y)$.

In allen diesen Gleichungen kommen neben den Veränderlichen andere Größen vor, welche von ihnen unabhängig sind, welche ihren Wert unverändert, konstant beibehalten, welches auch die Werte der Veränderlichen seien. Sind diese Konstanten auch von anderen, nicht in der Gleichung vorkommenden Veränderlichen unabhängig, so heißen sie Naturkonstanten. Zur Aufgabe der Physik gehört es, neben der Feststellung der Form der Gesetzmäßigkeit auch die in der Gesetzmäßigkeit, der Gleichung, vorkommenden Konstanten festzustellen.

In dem obigen Beispiel ist die Art der Funktion ausführlich dargestellt durch die Gleichung

$$l = l_0(1 + \alpha t).$$

Die hierbei vorkommende Konstante α hat für Kupfer, wenn die Thermometer nach der Celsiusskala geteilt sind, den Wert 0,000017.

2. Beim Auffinden der Art der Funktion, der Form der Gesetzmäßigkeit leitet uns das Prinzip der Einfachheit. Dieses besagt, daß in der Natur alle Gesetzmäßigkeiten von größter Einfachheit sind.

Ein großartiges Beispiel von dem Wert und der Bedeutung dieses Prinzipes gibt uns die Auffindung der die Bewegung der Planeten darstellenden Gesetze. Solange man dem unmittelbaren Anschein folgte und die groß erscheinende Erde der im Vergleich hiermit klein erscheinenden Sonne und den noch kleineren Sternen gegenüberstellte, entsprach es dem Prinzip der Einfachheit, die Erde als den Mittelpunkt der Welt anzusehen. Als sich aber durch genauere Beobachtung die Zahl der Planeten mehrte und man die Monde der großen Planeten entdeckte, verlor diese Auffassung an Einfachheit; namentlich die Bewegung der zwischen Sonne und Erde befindlichen Planeten und die der Monde ließ sich nur höchst unbequem darstellen. Dagegen wird wieder alles höchst einfach, wenn man statt dieser Hypothese annimmt, daß die Sonne der Mittelpunkt sei, um welche sich die Planeten und die zu diesen gehörige Erde drehen, daß diese auf ihren Wegen

um die Sonne sich außerdem um ihre eigene Achse drehen und daß sie unter Umständen selbst wieder Mittelpunkte für andere, sich um sie drehende Sterne, die Monde, werden. Einen exakten Beweis konnte Kopernikus (1473 bis 1543) für dieses von ihm deshalb auch sehr vorsichtig empfohlene Gesetz nicht geben; dennoch fand es, trotzdem es durch Jahrhunderte eingewurzelte und geheiligte Anschauungen umstürzte, infolge der durch seine Anwendung zu erreichenden Vereinfachung der Rechnungen in kurzer Zeit in der Wissenschaft ganz allgemeine Annahme. Seine Krönung fand dieses zunächst nur durch das Prinzip der Einfachheit gestützte Gebäude, als Newton (1687) aus den Kepplerschen Gesetzen, welche der scharfe Ausdruck des Kopernikanischen Weltsystems waren, sein Gravitationsgesetz ableitete. Aber auch dieses war zunächst nur durch das Prinzip der Einfachheit berechtigt. Erst als es Maskelyne (1775) und Cavendish (1798) experimentell an irdischen Objekten nachwiesen, wurde das Gravitationsgesetz ein wirklich physikalisch begründetes Gesetz, und damit war dann auch indirekt die Richtigkeit des Kopernikanischen Weltsystems experimentell bewiesen. Einen direkten Beweis, daß sich die Erde um ihre Achse dreht, gab erst Foucault (1851) durch seinen Pendelversuch.

Bis 1775 bezw. 1851 hat also das Kopernikanische Weltsystem nur den Wert einer durch das Prinzip der Einfachheit berechtigten Hypothese gehabt, die aber durch die erst so viel später angestellten Experimente glänzend bestätigt worden ist.

In ähnlicher Weise hat sich das Prinzip der Einfachheit auch sonst bewährt, und wir dürfen uns beim Aufsuchen von Gesetzmäßigkeiten, beim Feststellen der Art der Funktionen von ihm derart leiten lassen, daß wir stets zuerst die einfachsten Arten von Funktionen auf ihre Zulässigkeit am Beobachtungsmaterial prüfen.

Man muß sich hierbei aber wohl hüten, das, was einem selbst einfach erscheint, ohne weiteres für einfach überhaupt zu erklären und anderes als verwickelt und umständlich abzuweisen. Es ist ja sehr wohl denkbar, daß das, was dem Anfänger als verwickelt erscheint, dem Geübteren für das Einfachere gilt. Ein solcher Fall ist z. B. die Funktion $y = e^x$, wo $e = 2{,}71828\ldots$ die Basis der natürlichen Logarithmen ist. Dem Anfänger wird diese Funktion jedenfalls durchaus nicht als sehr einfach erscheinen, und doch zeichnet sie sich in gewisser Beziehung vor vielen anderen Funktionen durch große Einfachheit aus. Es ist bei dieser Funktion der einem bestimmten Zuwachs der unabhängigen Veränderlichen x entsprechende Zuwachs der Abhängigen y dem schon vorhandenen Wert dieser letzteren proportional, mit anderen Worten: je mehr schon vorhanden ist, um so mehr kommt hinzu, bezw. je kleiner die Funktion schon geworden ist, um so weniger nimmt sie ab. Ein Beispiel für den ersten Fall gibt ein Kapital, welches auf Zinseszinsen steht, eines für den zweiten die Dämpfung der Torsionsschwingungen (I, 80).

3. Sehr häufig zeigt sich, daß eine Größe nicht nur von einer, sondern von mehreren anderen Größen abhängt. So ist die Schwingungszeit des physischen Pendels (I, 35) nicht nur von seinem Trägheitsmoment, sondern auch von seinem Richtungsmoment abhängig; es ist eine Funktion von Trägheitsmoment und Richtungsmoment.

Bezeichnen wir allgemein die unabhängigen Veränderlichen mit $x, z, u, v \ldots$ und die abhängige mit y, so können wir diese Funktion mehrerer Unabhängigen schreiben $y = f(x, z, u, v, \ldots)$, y ist eine Funktion von x, z, u, v usw. Will man eine derartige Funktion untersuchen, so verlangt das Prinzip der Einfachheit, daß man zunächst die Abhängigkeit von einer Unabhängigen feststellt und während dieser Untersuchung die übrigen Unabhängigen konstant erhält, daß man in einer zweiten Versuchsreihe nur die zweite Unabhängige verschiedene Werte annehmen läßt und die übrigen unverändert erhält usw., bis sämtliche Unabhängige untersucht sind.

Dem entsprechend ist die Abhängigkeit der Schwingungsdauer des physischen Pendels zunächst vom Richtungsmoment festgestellt worden, indem der Wert des Trägheitsmomentes konstant erhalten wurde, und dann wurde die Abhängigkeit vom Trägheitsmoment bestimmt, während das Richtungsmoment seinen Wert beibehielt.

2. Das Rechnen mit naturwissenschaftlichen Zahlen. 1. Die Zahlen, mit denen man es in den naturwissenschaftlichen Rechnungen zu tun hat, unterscheiden sich von den Zahlen der reinen Mathematik dadurch, daß sie sämtlich nur Annäherungswerte sind, deren Genauigkeit je nach der benutzten Beobachtungsmethode eine sehr verschiedene sein kann. Mißt man eine Länge dadurch, daß man einen gewöhnlichen Maßstab daneben legt und mit den Augen unmittelbar abliest, so kann man nur die Millimeter messen und je nach der Übung die halben und viertel Millimeter schätzen. Steht eine Teilmaschine mit mikroskopischer Ablesung zur Verfügung, so kann man bequem noch die Hundertstel eines Millimeters ablesen und dessen Bruchteile schätzen, die Genauigkeit ist also hier 100 mal so groß.

Da nun durch keine Rechenoperation eine Beobachtung genauer werden kann, als sie sich ergeben hat, so muß man beim Rechnen mit naturwissenschaftlichen Zahlen darauf achten, daß die durch die Beobachtungsmethode und die Beobachtungsmittel bedingte Genauigkeit der Zahlen aufrecht erhalten bleibt. Dadurch wird das Zahlenrechnen in vieler Beziehung abgeändert gegen das Rechnen mit rein mathematischen Zahlen.

Zunächst ist die Angabe der Genauigkeit festzustellen. Durch stillschweigende Übereinkunft hat sich der Gebrauch festgesetzt, die Genauigkeit dadurch kenntlich zu machen, daß man nicht mehr Ziffern angibt, als daß die vorletzte noch vollständig genau, dagegen die letzte um einige Einheiten unsicher ist. Wenn also ein Beobachter die Lichtgeschwindigkeit zu 30 000 000 000 cm/sec angibt, so behauptet er damit, auch die letzte Stelle, d. h. die Einer der cm/sec ge-

messen und eine Null gefunden zu haben, daß aber diese Null um einige Einheiten unsicher sein kann. Da die Lichtgeschwindigkeit durch keine der bis jetzt bekannten Methoden mit einer solchen Genauigkeit bestimmt werden kann, so ist eine derartige Angabe unzulässig.

Um auch bei derartigen Zahlen von der oben gegebenen Bedingung für die Angabe der Genauigkeit Gebrauch machen zu können, benutzt man zur Angabe des Stellenwertes die Potenzen von 10. Es ist dabei vorteilhaft, wenn nicht besondere Gründe dagegen sprechen, die Potenz von 10 so zu wählen, daß das Komma hinter die erste Ziffer zu stehen kommt. Schreibt man also für die Lichtgeschwindigkeit $3 \cdot 10^{10}$ cm/sec, so heißt das, daß nur die 3 sicher ist, weitere Ziffern noch unsicher sind. Würde ein Beobachter für sein Resultat eine größere Genauigkeit behaupten, so muß er mehr Ziffern angeben, z. B. $2{,}998 \cdot 10^{10}$ cm/sec. Mit dieser Angabe sagt er, daß nach seiner Beobachtungsmethode und mit seinen Beobachtungsmitteln die zweite 9 noch richtig ist, daß dagegen die 8 um einige Einheiten ihrer Stelle unrichtig sein kann.

Die Null erhält so, und darauf muß besonders aufmerksam gemacht werden, eine weitere Bedeutung als sie in der Mathematik hat. Gibt ein Beobachter als sein Resultat die Lichtgeschwindigkeit zu $3{,}000 \cdot 10^{10}$ cm/sec an, so hat er mit derselben Genauigkeit beobachtet, wie der, welcher $2{,}998 \cdot 10^{10}$ cm/sec gefunden hat; nur ist sein Resultat um 2 Einheiten der letzten Stelle größer. Nullen hinter der letzten Ziffer sind also in bezug auf die Angabe der Genauigkeit wie andere Ziffern zu zählen, während Nullen vor der ersten Ziffer im allgemeinen nur Stellenzeiger sind und deshalb mittels Potenzen von 10 vermieden werden sollen, also z. B. statt 0,000017 $1{,}7 \cdot 10^{-5}$ (1, 1).

2. Durch diese Bedeutung, welche die Anzahl der angegebenen Ziffern als Maß der Genauigkeit erhält, wird das Rechnen mit naturwissenschaftlichen Zahlen etwas abgeändert.

Am wenigsten ändern sich die Regeln des Addierens und Subtrahierens. Hier hat man nur den oben aufgestellten Satz zu beachten, daß durch keine Rechenoperation die Genauigkeit irgendeiner Beobachtung vergrößert werden kann. Sind z. B. folgende Gewichte zu addieren:

1,680 gr
1,7947 „
1,67 „
1,847 „ ,

so darf als Summe nur 6,99 gr angegeben werden. Ist dagegen als drittes Gewicht 1,670 gr beobachtet worden, so ist die Summe 6,992 gr.

Eine sehr häufig vorkommende Aufgabe aus dem Gebiete der Addition ist die Bildung des Mittels aus einer Reihe von Zahlen. Bei der Ableitung des Boyleschen Gesetzes (I, 105) haben sich für

das Produkt aus dem beobachteten Druck und dem zugehörigen Volumen die nebenstehenden Werte ergeben. Es soll aus ihnen das Mittel gebildet werden. Man erkennt beim bloßen Überblicken der Zahlen, daß es in der Nähe von 1580 liegen wird. Man bildet deshalb einfach das Mittel der Differenzen der gegebenen Zahlen gegen 1580. Da diese Differenzen bald positiv, bald negativ sind, so kann man die Rechnung sehr bequem im Kopf machen.

1583	(+ 3)
1582	(+ 2)
1587	(+ 7)
1573	(− 7)
1569	(− 11)
1589	(+ 9)
1575	(− 5)
1583	(+ 3)
1589	(+ 9)
1576	(− 4)
1587	(+ 7)
1583	(+ 3)
1581,3	(+1,3)

Dadurch, daß bei der Mittelbildung eine große Anzahl von Beobachtungen zusammengefaßt wird, wird die Genauigkeit des Mittels größer als die einer Einzelbeobachtung. Ist die Anzahl der Beobachtungen, aus denen das Mittel genommen wird, so groß, daß sie nach der Regel der Abrundung eine 10 ergibt, so setzt man die Genauigkeit des Mittelwertes als um eine Stelle größer an; erhält man bei Abrundung der Anzahl der Beobachtungen 100, so darf man dem Mittelwert 2 Stellen mehr geben, usw. Da im Beispiel 12 Beobachtungen vorliegen, so darf man beim Mittelwert eine Stelle mehr aufschreiben.

3. Im Gegensatz zu den Regeln der Addition werden die der Multiplikation ganz bedeutend abgeändert.

Ist ein Produkt zweier Zahlen zu bilden, welche eine verschiedene Anzahl von Ziffern haben, so ist als Multiplikator der Faktor zu wählen, welcher die größere Anzahl von Ziffern hat. Dann wird stets abgekürzt multipliziert, d. h. man beginnt die Multiplikation mit der höchstwertigen Ziffer des Multiplikators und schreibt bei der Rechnung mit der nächsten Ziffer des Multiplikators die Einer des Resultates nicht auf, d. h. man macht diese Rechnung nur im Kopf, um zu sehen, was man zum Resultat der Rechnung mit der nächsten Ziffer des Multiplikandus hinzuzuzählen hat. Bei der Multiplikation mit der dritten Ziffer des Multiplikators kümmert man sich um die letzte Ziffer des Multiplikandus gar nicht mehr und behandelt die vorletzte so, wie eben die letzte. Die Regeln der Abrundung bleiben natürlich erhalten. Die Multiplikation der Zahlen 23,75·4,05 gibt folglich das Schema

```
  4,05
 23,75
------
 810
 12,2
  28
   2
------
 96,2
```

Sind die Zahlen, wie es meist der Fall sein wird, Dezimalbrüche, so schreibt man nicht die Kommata, sondern die beiden höchst-

wertigen Ziffern untereinander. Die Bestimmung des Kommas geschieht bei der Multiplikation mit den Einern des Multiplikators, bezw., wenn er keine hat, sofort bei der Multiplikation mit der ersten Ziffer.

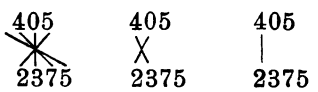
Um bei Multiplikationen in Tabellen die Nebenrechnungen zu sparen, für die man wegen der Sauberkeit und Übersichtlichkeit ein besonderes Stück Papier haben müßte, ist es gut, derartige Rechnungen überhaupt im Kopf vorzunehmen. Das ist sehr leicht auszuführen, wenn man die Reihenfolge der einzelnen miteinander zu multiplizierenden Ziffern so wählt, daß man aufeinanderfolgend die im obigen Schema untereinander stehenden, zu addierenden Zahlen erhält und nicht die nebeneinander stehenden. Schreiben wir zunächst das obige Schema ausführlicher, indem wir die einzelnen Multiplikationen nur andeuten, aber nicht ausführen, so erhalten wir, durch das + Zeichen gleichzeitig die Stellung andeutend:

$$\begin{aligned} 2\cdot4 + 2\cdot0 + 2\cdot5 &= 810 \\ 3\cdot4 + 3\cdot0_{(5)} &= 122 \\ 7\cdot4 &= 28 \\ 5\cdot0_{(4)} &= 2 \\ \hline & 962 \end{aligned}$$

Dieses Schema schreiben wir jetzt so, das die bisher untereinanderstehenden Multiplikationen nebeneinander gestellt werden.

$2\cdot5 + 3\cdot0_{(5)} + 7\cdot4 + 5\cdot0_{(4)} =$	42	2
$2\cdot0 + 3\cdot4 =$	12	6
$2\cdot4 =$	8	9
	962	962

Von der Summe der ersten Reihe, 42, schreibt man natürlich nur die 2 auf und zählt die 4 sofort zur Summe der nächsten Reihe, wie das auch bei der gewöhnlichen Rechnung der Fall ist. Vergleicht man dieses Schema mit der Aufgabe, so erkennt man, daß man sozusagen über Kreuz multipliziert hat:



Man beginnt jedesmal mit der ersten Stelle des Multiplikators; beim Multiplikandus fängt man aber mit der letzten an und, wenn man einmal durch ist, mit der vorletzten und so fort, bis der Multiplikandus keine Zahl mehr hat.

Bei der abgekürzten Division schreibt man vorteilhaft den Zähler unter, den Nenner über den Strich und, damit dadurch kein Irrtum entsteht, das Resultat oben darüber. Man erhält so für die Ausrechnung z. B. des Bruches $\frac{53{,}20}{1{,}24}$ das folgende Schema

42,9
1,24
53,20
4,96
3,6
2,5
11

Das Komma des Dividendus behält man solange bei, bis es mit dem des Divisors zusammenfällt.

4. Sehr häufig kommt es vor, daß man mit Summen zu rechnen hat, in denen die Summanden von sehr verschiedener Größenordnung und damit zusammenhängend von sehr verschiedener Genauigkeit sind. Mit solchen Summen kann man sich durch einige einfache Regeln das Rechnen sehr erleichtern.

Bei der Bestimmung des Verhältnisses der beiden spezifischen Wärmen der Gase (I, 215) tritt die Summe auf $(p - h_1)$, wo p der Barometerstand, h_1 die Angabe des Manometers ist. Das Barometer wird nach cm Quecksilbersäule abgelesen; da das Manometer Wasser enthält, so muß man seine Angaben durch Division mit dem spezifischen Gewicht des Quecksilbers (13,59) erst auf Quecksilber reduzieren. Sind Barometer und Manometer mit demselben Instrument, z. B. dem bloßen Auge abgelesen, so ist also die Angabe h' des Manometers 13,59 mal genauer als die des Barometers.

Derartige Summen behandelt man nun so, daß man zunächst den größeren Summanden als Faktor vor die Klammer schreibt; also $p - \frac{h'_1}{13{,}59} = p\left(1 - \frac{h'_1}{13{,}59\,p}\right)$. Hier ist der neben 1 entstehende Summand so klein, daß gewisse Näherungsregeln benutzt werden dürfen. Sind x bezw. x_1 und x_2 sehr kleine Zahlen, so ist, wie man sich leicht unter Beachtung der oben gegebenen Regeln über die Genauigkeit durch Nachrechnen überzeugen kann,

$$\frac{1}{1+x} = 1 - x; \quad \frac{1}{1-x} = 1 + x;$$
$$(1 + x_1)(1 + x_2) = 1 + x_1 + x_2; \quad \frac{1 + x_1}{1 + x_2} = 1 + x_1 - x_2.$$

Benutzen wir die letzte Formel zur Berechnung des bei Bestimmung des Verhältnisses der spezifischen Wärmen der Gase vorkommenden Bruches $\frac{p - h_1}{p - h_2}$, so erhalten wir, wenn wir zunächst die oben angegebene Umformung vornehmen,

$$\frac{p\left(1 - \frac{h'_1}{13{,}59\,p}\right)}{p\left(1 - \frac{h'_2}{13{,}59\,p}\right)} = \frac{1 - \frac{h'_1}{13{,}59\,p}}{1 - \frac{h'_2}{13{,}59\,p}}.$$

Mit Hilfe der gegebenen Näherungsformel bekommt man:

$$1 - \frac{h'_1}{13{,}59\,p} + \frac{h'_2}{13{,}59\,p} = 1 - \frac{h'_1 - h'_2}{13{,}59\,p}.$$

Nun ist p rund 76 cm, also $13{,}59\,p$ rund 1000; nach den Anweisungen zur Ausführung des Versuches ist $h'_1 - h'_2$ stets nur wenige Zentimeter, die Abweichung des Bruches von 1 beträgt also nur einige Tausendstel. Da nun im Versuch unvermeidliche Fehler vorkommen, welche viel größer sind, so dürfen wir den Bruch einfach gleich 1 setzen, d. h. es ist gar nicht nötig, den Barometerstand abzulesen. Dadurch, daß man von vornherein die Genauigkeit der Ablesung beachtet, kann man sich vielfach die Beobachtung erleichtern.

In ähnlicher Weise kann man sich das Wurzelausziehen aus Summen vereinfachen. Es sei zu berechnen $\sqrt{a^2 + b^2}$, wo b nur klein ist in Vergleich zu a. Man formt zunächst um zu

$$\sqrt{a^2\left(1 + \frac{b^2}{a^2}\right)} = a\sqrt{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2},$$

und für diesen Wert darf man setzen:

$$a\left[1 + \frac{1}{2}\left(\frac{b}{a}\right)^2\right].$$

Von dieser Regel kann z. B. Gebrauch gemacht werden bei Berechnung der Wellenlänge des Lichtes aus dem Versuch mit dem Fresnelschen Spiegel (52).

5. Der Rechenschieber. Man schneide sich aus Kartonpapier 2 Streifen, welche einen recht sauberen Schnitt haben. An

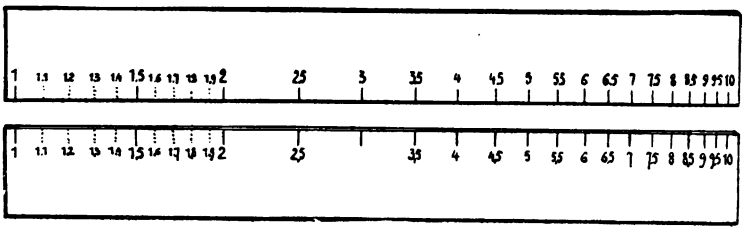


Fig. 1.

diesem entlang trage man die Logarithmen der Zahlen auf und schreibe bei den Strichen die Zahlen selbst an, so daß z. B. die Entfernung des mit 3 bezeichneten Striches vom Anfangspunkt der Skala, der mit 1 bezeichnet ist, 0,477 beträgt. Die Teilung zeichnet man so auf, daß, wenn man beide Streifen nebeneinander legt, zusammengehörige Striche in eine gerade Linie fallen (Fig. 1).

Da der Logarithmus eines Produktes gleich der Summe der Logarithmen der Faktoren ist, so muß, wenn man die Logarithmen

der Faktoren als Längen hat, der Logarithmus des Produktes gleich der Summe dieser Längen sein. Diese Summe läßt sich nun mit Hilfe des hergestellten Apparates leicht ablesen. Man stelle den Anfangspunkt des unteren Streifens, des Schiebers, dem Endpunkt der den Logarithmus des einen Faktors darstellenden Strecke gegenüber; dann steht dem Endpunkt der auf dem Schieber abzulesenden Strecke des Logarithmus des zweiten Faktors auf dem oberen Streifen der Endpunkt der Summe beider Strecken gegenüber, d. h. der Logarithmus des Produktes. Da an diesem Strich schon die Zahl selbst steht, so liest man unmittelbar das Produkt ab.

Es sei z. B. das Produkt $3{,}5 \cdot 1{,}8$ zu bilden. Man stelle die 1 des Schiebers unter den mit 3,5 bezeichneten Strich des Stabes und lese den Strich des Stabes ab, welcher dem mit 1,8 bezeichneten Strich des Schiebers gegenübersteht. Man findet 6,3; also ist $3{,}5 \cdot 1{,}8 = 6{,}3$.

Die im Handel käuflichen Rechenschieber haben noch einige weitere Erleichterungen für das Rechnen, welche durch die jedem Exemplar beigegebenen Erklärungen leicht zu verstehen sind.

Man solle sich des Rechenschiebers nur zu Überschlagsrechnungen bedienen, denn da er nicht mit mathematischer Genauigkeit hergestellt werden kann, so geht durch das Rechnen mit ihm die Genauigkeit der Beobachtung verloren. Auch ist man stets an die auf ihm abzulesende Anzahl von Ziffern gebunden und kann nicht die durch die Beobachtung bedingte beibehalten. Um diesem Mangel abzuhelfen, hat man im Handel Rechenschieber von verschiedener Länge.

3. Das Protokoll. Da man jede Beobachtung nur einmal anstellen kann und nachher nie wieder in genau derselben Weise zu wiederholen imstande ist, weil die Unvollkommenheit aller Apparate und der menschlichen Sinne eine genau gleiche Einstellung verhindern, so muß man über seine Beobachtungen möglichst genau Buch führen.

Hat man die für die Versuche nötigen Apparate richtig zusammengestellt und für die Beobachtung eingerichtet, und ist man sich über den Gang der Beobachtung klar, so richte man ein Protokoll ein.

Man schreibe zunächst das Datum und die Aufgabe auf und beschreibe kurz die benutzten Apparate. Dann zeichne man eine durch die Art der Beobachtung bedingte Zahl von Kolumnen (gewöhnlich zwei) in sein Papier und wähle ihre Lage so, daß neben ihnen noch eine je nach der Art der nachher auszuführenden Rechnung mehr oder weniger große Zahl von Kolumnen Platz hat.

An den Schluß des Protokolles kommt das Resultat der Rechnung in Form einer Gleichung unter zahlenmäßiger Angabe der gefundenen Konstanten. Daran schließt sich das in Worten ausgesprochene Gesetz.

Als Beispiel eines Protokolles möge die zur Feststellung des Boyleschen Gesetzes (I, 105) angestellte Beobachtung dienen.

„Greifswald, 1905 Juli 22 $10^h 30^m$ vormittags.

Boylesches Gesetz.

An einem vertikalen Brette ist ein Glasrohr von 46 cm Länge befestigt, an welchem unten ein Schlauch von 1 m Länge sitzt, der an seinem anderen Ende ein mehr als doppelt so weites Glasrohr (Trichterrohr) wie das erstere trägt. Der Schlauch ist auf den Rohren durch Draht festgebunden. Das weite Glasrohr kann an Haken, welche in verschiedenen Höhen des Brettes sitzen, aufgehängt werden. Der das Brett haltende Klotz steht auf einem großen, mit Rand versehenen Brette, damit kein Quecksilber verloren geht. Während das weite Glasrohr so aufgehängt war, daß die Mitten beider Rohre ungefähr gleiche Höhe haben, wurden der Schlauch und ein Teil der Rohre mit Quecksilber gefüllt. Nach der Füllung wurde das enge Rohr durch einen Gummistopfen luftdicht geschlossen, der mit Draht festgebunden wurde.

Für eine Reihe verschiedener Einstellungen des Trichterrohres wurde die Länge v der im engen Rohre eingeschlossenen Luftsäule in Zentimetern gemessen, ebenso die zu jeder Einstellung gehörige Höhendifferenz h der beiden Quecksilberoberflächen in Zentimetern, sowie der Barometerstand b. In der Tabelle sind die Angaben, bei denen das Quecksilber des weiteren Rohres niedriger steht als das des engeren, als negativ, die anderen als positiv bezeichnet.

Da der Querschnitt des die abgeschlossene Luftmenge enthaltenden Rohres als konstant angesehen werden kann, so gibt uns die gemessene Länge ein Maß für das Volumen der abgeschlossenen Luftmenge.

$b = 758{,}8$ mm.

v	h	p	pv
20,8	+ 0,2	76,1	1583
18,7	+ 8,7	84,6	1582
17,1	+16,9	92,8	1587
16,3	+20,6	96,5	1573
14,9	+29,4	105,3	1569
13,5	+41,8	117,7	1589
11,9	+56,5	132,4	1575
16,3	+21,2	97,1	1583
19,4	+ 6,0	81,9	1589
20,5	+ 1,0	76,9	1576
23,5	− 8,4	67,5	1587
26,6	−16,4	59,5	1583

Resultat: $pv = 1581{,}3 = \text{const.}$

Druck und Volumen eines Gases sind einander umgekehrt proportional, oder: Das Produkt aus Druck und Volumen einer Gasmenge ist eine Konstante.“

Im vorliegenden Protokolle verlangt die Rechnung nur zwei Kolumnen: die Bildung des auf die Luft wirkenden Druckes $p = b + h$ und die Bildung des Produktes pv. Die erste dieser Rechnungen ist ohne weiteres durchzuführen; man muß aber dabei beachten, daß das Barometer um eine Stelle genauer abgelesen ist, als die Höhendifferenzen am Apparat, es muß also abgerundet werden $b = 75{,}9$ cm. Hat man sich die oben (2, 3) angegebene Rechnungsmethode angewöhnt, so kann man auch die Bildung der Produkte, ohne irgendeine Zwischenrechnung aufzuschreiben, vornehmen.

4. Rechnerische Behandlung der beobachteten Zahlen. 1. Die Mathematik lehrt, daß man jede Funktion $y = f(x)$ auf die Form bringen kann: $f_1(x, y) = 0$ oder auch $f_2(x, y) = \text{const.}$ Die letzten beiden Gleichungen sind ohne weiteres als gleichwertig zu erkennen; es ist ja nur die in der Funktion enthaltene Konstante auf die andere Seite gebracht. Daß aber auch die erste Umformung richtig ist, erkennt man leicht aus einem Beispiel. Wir hatten (1, 1) aufgeschrieben, daß die Länge eines Stabes eine Funktion der Temperatur sei, $l = f(t)$, und für diese Funktion den Ausdruck gefunden $l = l_0(1 + \alpha t)$. Hieraus erhält man leicht durch einfache Umformungen

$$l = l_0 + l_0 \alpha t$$

$$l - l_0 = l_0 \alpha t$$

$$\frac{l - l_0}{l_0 t} = \alpha = \text{const.}$$

$$f(l, t) = \text{const.},$$

also die gewünschte Form, denn die linke Seite der vorletzten Gleichung ist sowohl von l als auch von t abhängig, ist eine Funktion von l und t.

Von dieser mathematischen Regel, daß sich jede Funktion auf die Form

$$f(x, y) = \text{const.}$$

bringen läßt, machen wir Gebrauch, indem wir unter Anwendung des Prinzipes der Einfachheit nach der einfachsten Beziehung zwischen den beobachteten Werten der beiden Veränderlichen suchen, welche für alle Paare von beobachteten Werten dieselbe Konstante ergibt — dieselbe, soweit es die Genauigkeit der Versuche zuläßt.

2. Vielfach darf man die unmittelbar beobachteten Zahlen nicht in Beziehung zueinander setzen, muß vielmehr die eine oder auch beide erst noch einer Umrechnung unterwerfen, welche sich entweder aus der Beobachtungsmethode selbst ergibt oder auch erst aus dem Beobachtungsmaterial erschlossen werden muß.

In dem bei Besprechung des Protokolles (3) benutzten Beispiel war in zwei nebeneinander stehenden Kolumnen das Volumen v der

Luft, bezw. die als Maß desselben dienende Länge der Luftsäule und die Höhendifferenz h der beiden Quecksilberoberflächen aufgeschrieben worden. Bei sorgfältigem Durchdenken der Versuchsanordnung erkennt man, daß die beiden durch einen Schlauch verbundenen Glasröhren kommunizierende Röhren (I, 63) sind, von denen die eine offen, also dem Luftdruck zugänglich, die andere dagegen geschlossen, also gegen den Luftdruck geschützt ist. Der von der eingeschlossenen Luftmenge auf das sie begrenzende Quecksilber ausgeübte Druck ist also gleich dem Drucke der durch die Höhendifferenz gemessenen Quecksilbersäule vermehrt um den Luftdruck, den Barometerstand. Während die Länge der Luftsäule unmittelbar als die eine Veränderliche benutzt werden darf, erhält man die andere erst, indem man zu dem beobachteten h den Barometerstand b hinzuzählt. Auf diese Weise ist die dritte Kolumne $p = b + h$ entstanden.

Sind so die beiden voneinander abhängigen Veränderlichen mit den zueinander gehörigen Werte im Protokolle nebeneinander aufgeschrieben, so gilt es $f(p, v) = \text{const.}$ zu finden, d. h. diejenige Rechenoperation aufzusuchen, welche, auf die verschiedenen Paare von p und v angewandt, stets dasselbe Resultat ergibt.

Auf Grund des Prinzipes der Einfachheit probieren wir nun die einfachen Rechenoperationen durch. Da v abnimmt, wenn p zunimmt, so sind die umgekehrten Rechenoperationen, Subtrahieren und Dividieren, von vornherein ausgeschlossen. Auch daß die Addition keine Konstante liefern kann, erkennen wir leicht, denn die Zahlen des Druckes schwanken zwischen 132 und 59, also um 73, während die zugehörigen Volumina nur zwischen 12 und 26, also um 14 schwanken. Auch ist an die Regel zu erinnern, daß man verschieden benannte Zahlen nicht zueinander addieren darf; durch diese Regel werden in sehr vielen Fällen Addieren und Subtrahieren sofort ausgeschlossen.

Nachdem sich diese drei Rechenoperationen als unbrauchbar erwiesen haben, versuchen wir es mit der Multiplikation. Sie führt, wie die vierte Kolumne des Protokolles beweist, zu einem guten Resultate, denn die Werte dieser Kolumne unterscheiden sich voneinander um nicht mehr, als durch die unvermeidliche Ungenauigkeit der Beobachtung bedingt ist. Die größte Abweichung vom Mittel ist 12, also weniger als $1\,\%$ des Mittelwertes; man kann deshalb die Beobachtungen als sehr gut angestellt bezeichnen.

Das durch diese Anwendung des Prinzipes der Einfachheit gefundene Gesetz lautet also

$$p\,v = \text{const.}$$

3. Aus dem Protokoll einer Untersuchung der Gegendstand- und Bildweite bei einer Sammellinse entnehmen wir folgende Zahlen für die Entfernung a des Gegenstandes und b des Bildes von der Linse:

a	b	$\frac{1}{a}$	$\frac{1}{b}$	$\frac{1}{f}$
∞	0,398	0	2,533	2,533
2,000	0,504	0,500	1,984	2,484
1,000	0,662	1,000	1,501	2,501
0,800	0,798	1,250	1,252	2,502
0,750	0,840	1,333	1,190	2,523
0,667	0,985	1,500	1,015	2,515
0,550	1,460	1,818	0,685	2,503
0,450	3,550	2,222	0,282	2,504
0,400	∞	2,500	0	2,500
0,333	2,18	3,00	0,46	2,54
0,250	0,63	4,00	1,58	2,42
0,200	0,41	5,00	2,45	2,55
0,100	0,14	10,00	7,14	2,86

In diesem Protokolle fällt uns zunächst der Strich zwischen den Zahlen auf. Aus der im Protokolle gegebenen Erläuterung der Versuche entnehmen wir, daß beim Strich eine Änderung der Erscheinung eintrat. Als Gegenstand war zuerst die Sonne genommen worden, deren Entfernung als ∞ im Protokolle aufgeführt ist; dann wurde eine Kerze der Linse genähert, deren Flamme zunächst als Gegenstand angesehen wurde; als deren Bild sehr groß wurde, wurde, von $a = 0{,}550$ an, das rotglühende Ende des Dochtes als Gegenstand benutzt. Als aber die Kerze auf 0,400 angekommen, war ein Bild überhaupt nicht mehr aufzufinden, so weit war es weg; seine Entfernung wurde deshalb mit ∞ bezeichnet. Wurde nun die Kerze noch weiter genähert, so konnte ein Bild in der bisherigen Weise nicht mehr aufgefangen werden, wohl aber ließ sich ein scheinbares Bild feststellen, dessen Entfernung von der Linse gemessen wurde, indem die Stellung eines Nagels so aufgesucht wurde, daß Nagel und Bild am selben Orte zu sein schienen. Während bis dahin Kerze und Bild auf verschiedenen Seiten der Linse sich befanden, mußte der den Ort des scheinbaren Bildes angebende Nagel auf derselben Seite der Linse aufgestellt werden, auf welcher sich die Kerze befand.

Die Beobachtung lehrt also, daß in der die Gesetzmäßigkeit darstellenden Funktion sich jedenfalls etwas ändert, wenn a kleiner wird als 0,400. Deshalb betrachten wir zunächst nur die Zahlen bis zum Strich.

Hierbei sehen wir, daß, während die eine Zahlenreihe von ∞ bis 0,400 abnimmt, die andere von dem 0,400 sehr naheliegenden Werte 0,398 bis unendlich zunimmt; ferner sehen wir, daß dem Werte $a = 1{,}000$ der Wert $b = 0{,}662$, dagegen dem Werte $a = 0{,}667$ der Wert $b = 0{,}985$ entspricht; schließlich sind auch noch die zueinander gehörigen Werte $a = 0{,}800$ und $b = 0{,}798$ einander so ähnlich, daß man sie als gleich ansehen darf. Das führt uns auf

die Vermutung, daß wir Bild und Gegenstand miteinander vertauschen dürfen. Es ist deshalb, wie das Protokoll berichtet, ein besonderer Versuch angestellt worden zur Prüfung dieser Vermutung. Es wurde die Kerze in beliebiger Entfernung von der Linse aufgestellt, das Bild gesucht und dann Kerze und Schirm miteinander vertauscht. Dabei ergab sich, daß auf dem Schirme wieder ein scharfes Bild der Kerze entstand.

Aus dieser nun experimentell festgestellten Tatsache folgt, daß die Funktion $f(a, b) = \text{const.}$ so eingerichtet sein muß, daß man in ihr a und b vertauschen darf, ohne daß sich dadurch an ihr etwas ändert, d. h. es muß

$$f(a, b) = f(b, a) = \text{const.}$$

sein.

Die einzigen einfachen Rechenoperationen, welche dieser Bedingung genügen, sind Addition und Multiplikation; denn bei allen anderen, Subtrahieren, Dividieren, Logarithmieren usw., ist die Reihenfolge der Zahlen eine ganz bestimmte, nur in der Summe und im Produkte dürfen die einzelnen Glieder miteinander vertauscht werden.

Sehen wir uns nun in bezug auf diese beiden für einzig zulässig erkannten Operationen das Beobachtungsmaterial an, so erkennen wir sofort, daß sie nicht angewendet werden können, wenigstens nicht ohne weiteres, denn während wir in der Mitte endliche Zahlen haben, ergeben beide Rechenoperationen für die Anfangs- und Schlußwerte ∞. Weil aber die experimentell noch besonders festgestellte Vertauschbarkeit von Gegenstand und Bild Addition oder Multiplikation verlangt, müssen wir für die unmittelbaren Versuchsergebnisse noch nach einer solchen Umrechnung suchen, daß dann eine der beiden Operationen zum Ziele führt. Die Vertauschbarkeit verlangt, daß diese Umrechnung für beide Zahlengruppen in derselben Weise vorgenommen wird.

Die Wahl der zur Umrechnung nötigen Operation wird uns erleichtert, wenn wir überlegen, daß es die beiden Werte ∞ waren, welche von vornherein die unmittelbare Anwendung von Addition und Multiplikation ausgeschlossen haben. Wir machen diese Werte, wenigstens für die Addition, die in diesem Falle zulässig ist, weil a und b Längen, also gleich benannt sind, unschädlich, wenn wir überall die reziproken Werte bilden. Da aber auch die Multiplikation der Bedingung der Vertauschbarkeit genügt, so machen wir zunächst einen rohen Überschlag, ob nach Bildung der reziproken Werte die Addition zum Ziele führen kann. Dieser Versuch läßt sich sehr leicht bei der ersten, letzten und vierten Reihe vornehmen, weil wir da nur je eine Division haben. Da diese Probe Erfolg verspricht, rechnen wir $\frac{1}{a}$ und $\frac{1}{b}$ für alle Werte aus und schreiben das Resultat in das Protokoll, in die für die Rechnung vorgesehenen Kolumnen. Die Summierung von $\frac{1}{a}$ und $\frac{1}{b}$ ergibt Werte, welche bis auf die

durch die Unvollkommenheit der Beobachtung bedingten kleinen Fehler einander gleich sind, d. h. wir dürfen setzen

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = 2{,}507 = \text{const.}$$

Da a und b Längen sind, so muß, wenn wir den reziproken Wert der Konstanten bilden, der Nenner ebenfalls eine Länge sein. Es ist $2{,}507 = \frac{1}{0{,}399}$ oder abgerundet $\frac{1}{0{,}40}$. Der Nenner hat also bis auf die Beobachtungsfehler denselben Wert wie die Entfernung des Punktes von der Linse, in welchem die von der Sonne, d. h. aus der Unendlichkeit kommenden Strahlen sich sammeln. Da man diesen Punkt wegen der Wärmewirkungen der Sonne Brennpunkt nennt, so heißt seine Entfernung Brennweite; man bezeichnet sie mit f. Somit heißt unser Gesetz

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}.$$

Brennweite der benutzten Linse 0,40.

Die Summe der reziproken Werte der Entfernungen des Gegenstandes und des Bildes von der Linse ist gleich dem reziproken Werte der Brennweite der benutzten Linse.

Nachdem wir somit aus dem ersten Teile unserer Beobachtung ein einfaches Gesetz gefunden haben, untersuchen wir, wie weit wir es abändern müssen, damit es auch dem zweiten Teile genügt. Zu dem Zweck bilden wir zunächst die reziproken Werte von a und b. Da das Beobachten mit dem Nagel sehr schwierig ist, so sind die gefundenen Zahlen natürlich nicht so genau wie die des ersten Teiles. Wir erkennen aber sofort, daß, wenn wir die Differenz der reziproken Werte bilden, wir wieder die reziproke Brennweite der Linse erhalten. Wenn wir also festsetzen, daß die Entfernung des Bildes von der Linse, solange das Bild auf der anderen Seite ist wie der Gegenstand, als positiv, solange es auf derselben Seite ist wie der Gegenstand, als negativ bezeichnet werden soll, so bleibt unsere Formel $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$ für alle beliebigen Lagen des Gegenstandes gültig.

Aus beiden Beispielen (4, 2 und 4, 3) erkennt man, daß man, ehe man sich an die Rechnung macht, noch einmal recht genau die Beobachtungsmethode durchdenken und das Zahlenmaterial selbst aufmerksam überblicken muß. Je sorgsamer man diese Vorschrift beachtet, um so leichter werden sich nachher die Rechnungen ausführen lassen, welche zur Auffindung des Gesetzes dienen.

5. Graphische Behandlung der beobachteten Zahlen. 1. Für das Erkennen von Gesetzmäßigkeiten bietet die Aufzeichnung des Beobachtungsmaterials in Koordinatenpapier sehr große Vorteile.

Man nehme ein Papier, auf welchem zwei rechtwinklig aufeinander stehende Systeme von geraden Linien gezogen sind, die alle gleichen Abstand voneinander haben (Koordinatenpapier). Die im

Handel käuflichen Papiere dieser Art sind so eingerichtet, das jede fünfte und noch stärker jede zehnte Linie hervorgehoben sind, so daß das Zählen der Linien sehr erleichtert ist.

Man ziehe durch irgend zwei aufeinander senkrechte Linien, am besten durch solche hervorgehobenen, zwei Gerade: die Achsen des Koordinatensystems. Auf diese trage man die beobachteten Werte auf und zwar, wenn nicht besondere Verhältnisse Abweichungen bedingen, auf der wagerechten, der Abszissenachse, die Werte der unabhängigen Veränderlichen, die positiven nach rechts, die negativen nach links, und auf der dazu senkrechten, der Ordinatenachse, die der abhängigen Veränderlichen, die positiven nach oben, die negativen nach unten.

Man greife die zwei zusammengehörigen Werten der beiden Veränderlichen entsprechenden Punkte auf den Achsen heraus, gehe von dem auf der Abszissenachse liegenden aufwärts bezw. abwärts, je nach dem Vorzeichen der Ordinate und von dem auf der Ordinatenachse liegenden seitwärts, bis beide, in Wirklichkeit nicht ausgeführten, sondern durch das Koordinatenpapier gegebenen Linien sich schneiden; den Schnittpunkt markiere man. Ebenso verfahre man mit den anderen Wertepaaren. Man erhält auf diese Weise auf dem Koordinatenpapier ein System von Punkten, die man so miteinander verbindet, daß ein zusammenhängender Linienzug entsteht. Hat man benachbarte Punkte durch gerade Linien verbunden, was das Nächstliegende ist, so hat der Linienzug eine durch die Zahl der Punkte bedingte Anzahl von Knicken. Im allgemeinen bietet aber das System von Punkten schon den Anschein einer stetig, d. h. ohne Knicke verlaufenden Kurve. Man zieht deshalb entweder aus freier Hand oder mit Hilfe eines Kurvenlineals eine stetige Kurve, welche sich den Punkten möglichst anschließt. Es ist nicht nötig, daß die Kurve durch die Punkte selbst geht, denn diese enthalten ja die Beobachtungsfehler, sind also auch nicht vollkommen genau. Man muß sich ihnen aber möglichst zu nähern suchen.

Der Maßstab, nach welchem man die Beobachtungen in das Koordinatensystem einträgt, d. h. die Anzahl der Einheiten der Veränderlichen, welche man durch 1 mm darstellt, ist ganz willkürlich; die einzige Bedingung, welche bei seiner Wahl zu beachten ist, ist die, daß die Punkte der Kurve eine passende Entfernung voneinander bekommen. Die Punkte dürfen nicht soweit voneinander liegen, daß der Gesamtüberblick über alle erschwert ist; aber auch nicht so nahe, daß zwischen ihnen die Kurve zu kurz wird; ebenso darf auch das Verhältnis der Maßstäbe von Abszisse und Ordinate nicht so sein, daß, wenn die Punkte durch gerade Linien verbunden werden, diese sehr spitze Winkel miteinander bilden. Bestimmte allgemein gültige Regeln lassen sich für die Wahl des Maßstabes nicht aufstellen; es ist deshalb dem Anfänger zu raten, das Beobachtungsmaterial irgendeiner Untersuchung mehrere Male mit verschiedenen Maßstäben einzutragen; er wird dann leicht erkennen, welches der beste ist, und in kurzer Zeit sich die nötige Erfahrung erworben haben.

Aus dem Protokoll des Vergleiches eines Thermometers mit einem Normalthermometer (I, 172) entnehmen wir die untenstehenden Zahlen:

t	d
0	+ 0,05
10	+ 0,10
20	+ 0,10
30	+ 0,15
40	+ 0,10
50	+ 0,05
60	+ 0,05
70	+ 0,00
80	− 0,00
90	− 0,10
100	− 0,15

Das Protokoll bemerkt, daß die Teilung des Thermometers Zehntelgrade gab, die aber so eng waren, daß man nur noch die Hälfte

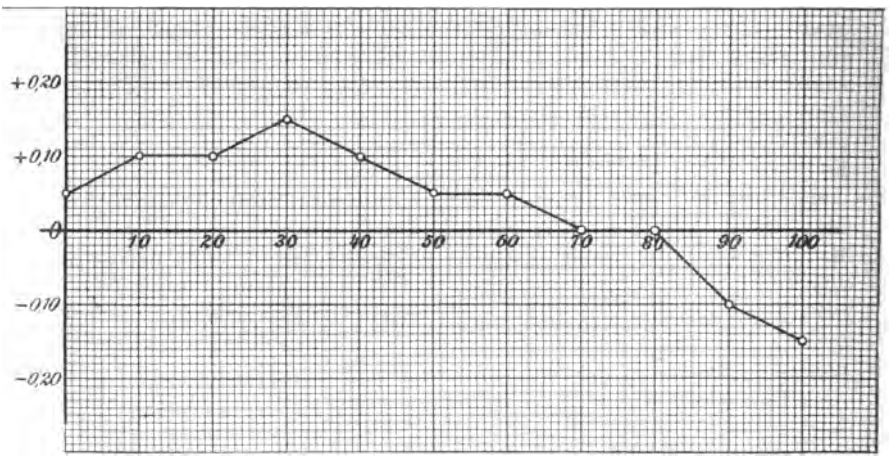


Fig. 2.

schätzen konnte. Die Angaben t des Normalthermometers nehmen wir als Abszissen und setzen $1^0 = 1$ mm. Damit die die Abweichungen ergebende Kurve nicht zu flach wird, nehmen wir als Maßstab für die auf die Ordinate aufzutragende Abweichung d des Thermometers vom Normalthermometer den Maßstab $0{,}01^0 = 1$ mm. Diesen Maßstab noch größer zu wählen, verbietet die Genauigkeitsgrenze der Beobachtung. Wir verbinden die erhaltenen Punkte zunächst durch gerade Linien (Fig. 2) und versuchen dann unter Berücksichtigung der im Protokoll angegebenen Genauigkeit einen sich an die Punkte möglichst anschließenden stetigen Kurvenzug zu zeichnen (Fig. 3).

Besteht zwischen den beiden Veränderlichen eine einfache Be-

ziehung, so wird auch die Form der Kurve, welche durch Eintragen in Koordinatenpapier erhalten wird, eine einfache sein und in ganz bestimmter Beziehung zur Art der Funktion stehen, welche die Veränderlichen miteinander verbindet. Kennt man die Kurve, welche irgendeiner Funktion entspricht, so kann man, sobald die Aufzeichnung der Beobachtungen diese Kurve ergibt, sofort schließen, daß die Veränderlichen durch diese Funktion miteinander zusammenhängen.

Im gezeichneten Beispiel kann die Kurve keine einfache sein, weil die Abweichungen vom Normalthermometer wesentlich durch die Verschiedenheit des Durchmessers an verschiedenen Stellen, die ganz regellos verlaufen, bedingt sind. Das einzige, was wir von der Kurve wissen, ist, daß sie stetig verläuft, weil sich der Durchmesser infolge der Oberflächenspannung des weichen Glases nicht plötzlich, sondern stetig ändert.

2. Aus dem Protokoll der Untersuchung der Torsion mit Hilfe

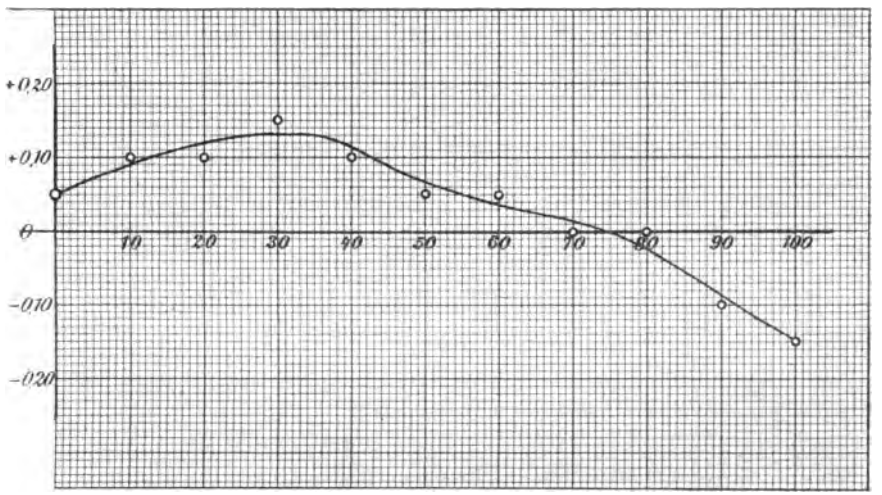


Fig. 3.

des Pendeldynamometers (I, 47) entnehmen wir die nachstehenden Zahlen, welche den Torsionswinkel φ, um welchen der Draht oben gedreht ist, gemessen in Vielfachen von π (3,141 . .), und das aus der Stellung des Dynamometers schon berechnete Drehungsmoment D angeben.

φ	D	φ	D
1	16,5	6	98,4
2	33,2	7	117,0
3	50,1	8	132,2
4	65,3	9	149,8
5	82,6	10	164,2

Diese Zahlen tragen wir in Koordinatenpapier ein, indem wir den Torsionswinkel als Abszisse nehmen und den Winkel 3,141.. = 1 cm setzen. Wir nehmen das Drehmoment als Ordinate und wählen 20 Einheiten gleich 1 cm (Fig. 4). Man erkennt sofort, daß die Punkte sämtlich auf einer durch den Koordinatenanfangspunkt gehenden geraden Linie liegen.

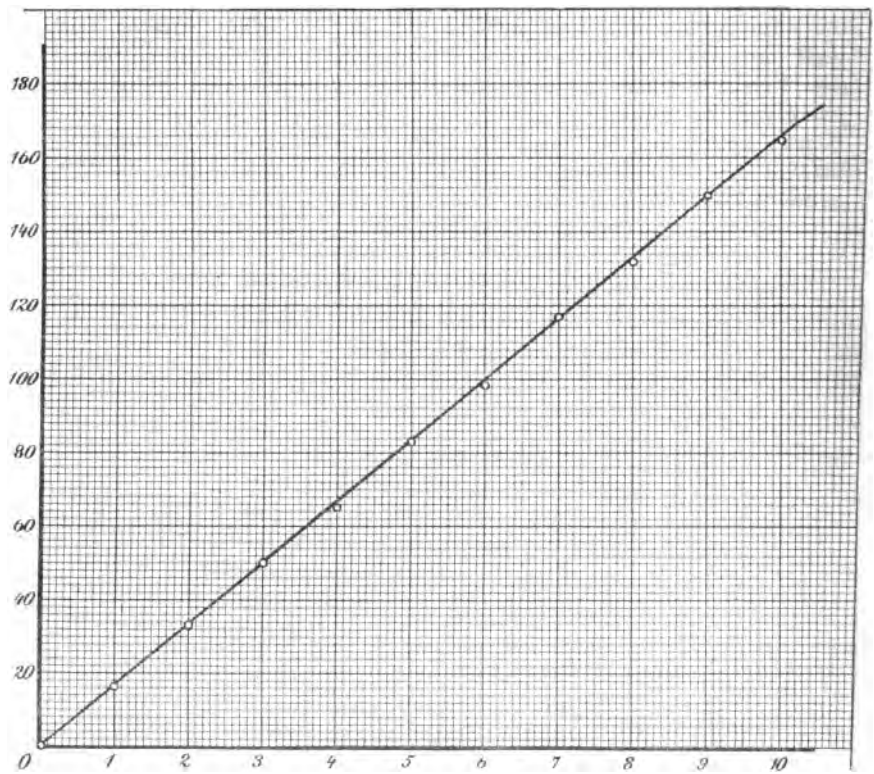


Fig. 4.

Um die durch eine derartige gerade Linie festgestellte Gesetzmäßigkeit auch in die Form einer Gleichung zu bringen, nehmen wir an Stelle der im Beispiel benutzten Koordinaten φ und D die allgemeinen x und y. Wir wollen uns zu einer beliebigen Zahl von Abszissen x_1, x_2, x_3, x_4 usw. die dazugehörigen Ordinaten y_1, y_2, y_3, y_4 usw. gezeichnet denken. Wir bekommen dann eine Reihe rechtwinkliger Dreiecke, welche alle im Koordinatenanfangspunkt denselben Winkel haben und deshalb alle einander ähnlich sind. Es ist also

$$\frac{y_1}{x_1} = \frac{y_2}{x_2}; \quad \frac{y_2}{x_2} = \frac{y_3}{x_3} \text{ usw.}$$

Alle diese Proportionen fassen wir zu einer fortlaufenden zusammen:

$$\frac{y_1}{x_1} = \frac{y_2}{x_2} = \frac{y_3}{x_3} = \frac{y_4}{x_4} \text{ usw.}$$

In allen diesen zwischen der geraden Linie und der Abszissenachse liegenden rechtwinkligen Dreiecken ist somit das Verhältnis der beiden Katheten zueinander jedesmal dasselbe. Wir bezeichnen den Wert dieses Verhältnisses mit a; dann muß, wenn die zu einer beliebigen Abszisse x gehörige Ordinate y ist, auch $\frac{y}{x} = a$ sein. Somit ist das durch eine gerade Linie ausgedrückte Gesetz

$$\frac{x}{y} = a = \text{const.}$$

oder

$$y = ax.$$

Man liest diese letzte Gleichung vielfach: y ist proportional x und nennt a den Proportionalitätsfaktor.

Das durch eine durch den Anfangspunkt gehende gerade Linie gegebene Gesetz besagt also, daß die eine Veränderliche der anderen proportional ist, und daß der Proportionalitätsfaktor gleich der Tangente des Winkels ist, welchen die gerade Linie mit der Abszissenachse bildet.

Kehren wir wieder zum Beispiel zurück: Daraus, daß sich die Beobachtungen durch eine durch den Anfangspunkt gehende gerade Linie darstellen lassen, leiten wir das Gesetz ab:

$$D = a\varphi,$$

Drehungsmoment und Torsionswinkel sind einander proportional.

Da das Torsionsmoment T definiert ist durch die Gleichung $T = \frac{D}{\varphi}$, so erhalten wir weiter, daß das Torsionsmoment unabhängig vom Drehmoment ist; es ist gleich dem Proportionalitätsfaktor a.

Trägt man das Beobachtungsmaterial für verschiedene Drähte in dasselbe Koordinatennetz ein und zeichnet dann für irgendeine Abszisse, z. B. $x = 1$ oder $x = 10$, die zugehörigen Ordinaten der verschiedenen geraden Linien, so hat man sofort das Torsionsmoment für die verschiedenen Drähte und kann diese unmittelbar miteinander vergleichen.

3. Die Untersuchung der Abhängigkeit der Länge L einer Spiralfeder vom spannenden Gewicht G (I, 43) ergab folgende Zahlen, welche wir in Koordinatenpapier eintragen (Fig. 5). Als Abszisse nehmen wir 200 gr = 1 cm, als Ordinate 0,1 m = 1 cm:

G	L	G	L
0	0,563	1000	0,883
200	0,623	1200	0,937
300	0,663	1500	1,046
400	0,698	1800	1,139
600	0,752	2000	1,200
800	0,812		

Man sieht auch hier sofort, daß die Punkte auf einer geraden Linie liegen, die aber nicht durch den Anfangspunkt geht. Das durch diese Gerade ausgedrückte Gesetz wird also eine andere Form

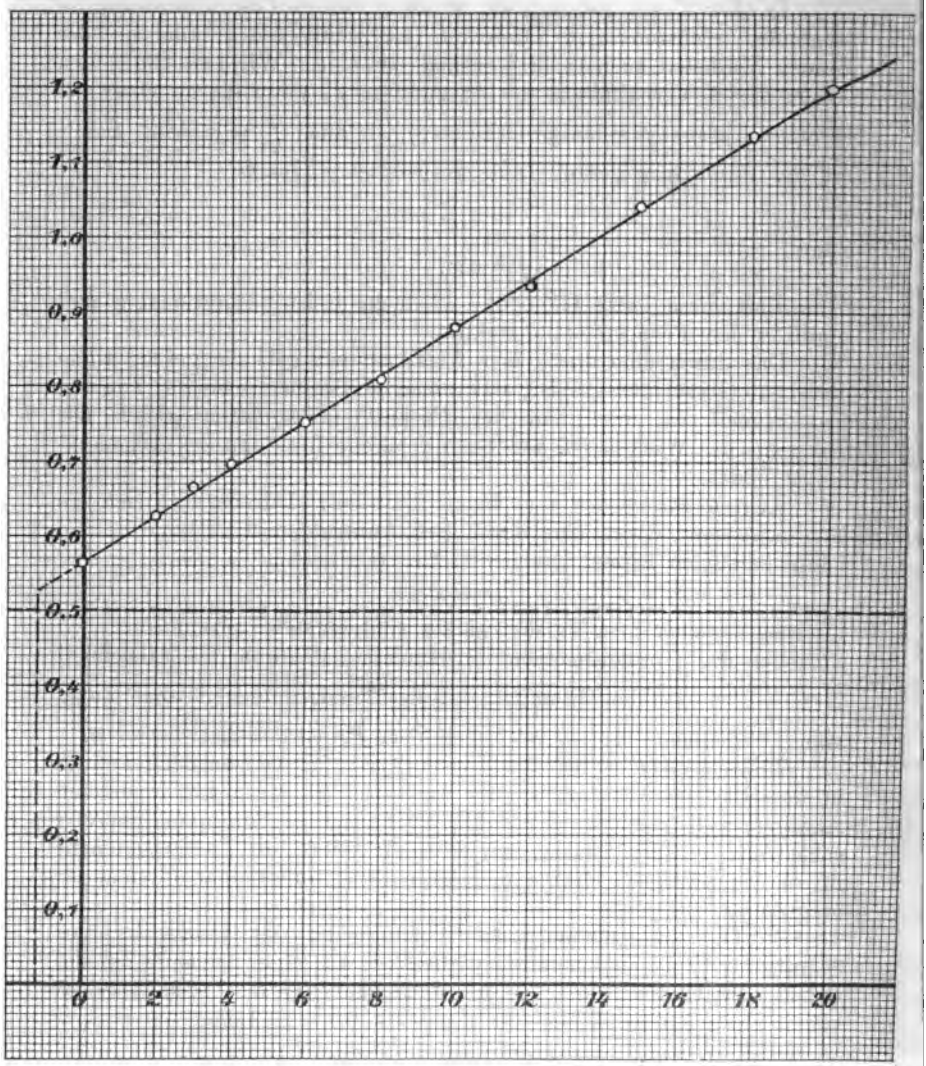


Fig. 5.

haben wie das soeben entwickelte. Um es zu finden, legen wir durch die Ordinate 0,563 eine Parallele zur Abszissenachse, d. h. wir ziehen von sämtlichen Längen L der Spiralfeder die anfängliche Länge L_0 ab (graphische Subtraktion). Nehmen wir diese, in Fig. 5 nicht aus-

geführte Parallele als Hilfsabszissenachse, so sind, da jetzt die gerade Linie durch den Anfangspunkt geht, nach dem eben gefundenen Satz die Verlängerungen der Spiralfeder $l = L - L_1$ den spannenden Gewichten p proportional, d. h. wir können setzen: $l = ap$. Führen wir wieder die Gesamtlänge ein, so erhalten wir nach einfacher Umformung

$$L = L_1 + ap.$$

Die einer bestimmten Belastung, z. B. 100 gr, entsprechende Verlängerung kann man sofort ablesen, indem man die zur Abszisse 100 gr gehörige, von der Hilfsabszissenachse gezählte Ordinate mißt, oder indem man die Differenz zweier um 100 gr = 0,5 cm voneinander entfernten Ordinaten mißt.

Auch bei derartig allgemein liegenden Geraden spricht man häufig von Proportionalität; will man sich aber korrekt ausdrücken, so darf man nur sagen, daß der Gesamtzuwachs der einen Veränderlichen dem Wert der anderen Veränderlichen proportional ist.

4. Gesetze, welche sich durch eine gerade Linie darstellen lassen, haben wir in der Physik sehr häufig. Diese durch die Beobachtungen gegebene und deshalb begrenzte Linie liegt dann aber vielfach nur in dem Winkelraume zwischen den Koordinatenachsen, ohne diese zu schneiden, und es entsteht die Frage, was bedeuten die auf den Achsen abgeschnittenen Strecken, wenn man die Linie bis zum Schnitt mit den Achsen verlängert. Diese Frage läßt sich ganz allgemein beantworten aus der die allgemeinen Koordinaten enthaltenden Gleichung der geraden Linie

$$y = ax + b.$$

Verlängern wir diese Linie bis zum Schnittpunkt mit der Ordinatenachse, so finden wir, da die Ordinatenachse der Abszisse $x = 0$ entspricht, daß die auf der Ordinatenachse abgeschnittene Strecke den Wert der auf dieser Achse aufgetragenen Veränderlichen darstellt, welcher dem Wert 0 der anderen Veränderlichen zugehört. Ebenso ist es auch mit dem auf der Abszissenachse abgeschnittenen Stück; dieses stellt den Wert der als Abszisse gewählten Veränderlichen dar, welcher dem Wert 0 der anderen Veränderlichen entspricht.

Diese Bedeutung der auf den Achsen abgeschnittenen Strecken ermöglicht es, auf bequeme Weise die Anfangswerte der Veränderlichen festzustellen, welche sich der unmittelbaren Beobachtung unzugänglich erweisen. So besitzt der als physisches Pendel benutzte Kantel (I, 35, 2) bezw. das zum Auflegen der zu untersuchenden Körper benutzte Stabkreuz mit Draht (I, 49, 1) schon von vornherein, ehe man die veränderlichen Bleiplatten bezw. Messinggewichte aufsteckt, ein Trägheitsmoment, welches während der Versuche nicht geändert wird. Seine Größe erhält man, wenn man die gerade Linie, welche sich ergibt, wenn man die Beobachtungen nach Vorschrift aufträgt, bis zum Schnittpunkt mit der Abszissenachse verlängert.

Experimentell ist dieser Punkt unzugänglich, weil sich das Trägheitsmoment des Kantels nicht ändern läßt, ohne daß gleichzeitig sein Richtungsmoment geändert wird, während doch die Versuchsanordnung dessen Unveränderlichkeit verlangt. Genau ebenso kann man auch das Richtungsmoment des unbelasteten Kantels (I, 35, 1) finden.

Derartige graphische Extrapolationen brauchen aber durchaus nicht immer bis zum Schnittpunkt mit einer Achse durchgeführt zu werden. In dem besprochenen Beispiel von der Verlängerung der Spiralfeder ist 0,563 nicht die Länge der unbelasteten Feder, denn sie trägt ja schon die Schale, in welche die Gewichte gelegt werden. Wollen wir die Länge kennen, so tragen wir das Gewicht der Schale 125 gr auf der Abszissenachse nach der linken, negativen Seite hin ab; zählen wir die Belastungen alle von diesem Punkt aus, so sind sie, wie es sein muß, um das Gewicht der Schale größer (graphische Addition). Zeichnen wir die dem Gewicht der Schale entsprechende Ordinate, so schneidet die die Beobachtung darstellende gerade Linie auf ihr ein Stück ab, welches die Länge 0,525 der ganz unbelasteten Spiralfeder ergibt.

Eine der eben erwähnten graphischen Subtraktion ähnliche Operation kann man vornehmen, um die graphische Darstellung von Beobachtungen bequemer und dadurch genauer und übersichtlicher zu gestalten. In Fig. 5 kann man nahezu die Hälfte des Papieres weglassen, ohne daß dadurch am Gesetz irgend etwas gestört würde, indem man nämlich die Ordinate nicht mit 0, sondern gleich mit 0,5 beginnt. Die Zahlen an der Ordinate dürfen aber durch diese scheinbare graphische Subtraktion nicht geändert werden.

Gerade so, wie dann die Ordinate nicht mit 0 zu zählen beginnt, kann es in anderen Fällen günstig sein, die Abszissenachse mit einem von 0 verschiedenen Wert anfangen zu lassen.

5. Die Mathematik weist nach, daß man jede Gleichung, in welcher die Veränderlichen x und y nur in der ersten Potenz vorkommen, auf die Form $y = ax + b$ bringen kann, durch welche, wie eben gezeigt, eine gerade Linie dargestellt wird. Eine gekrümmte Linie kann also nur durch eine Gleichung dargestellt werden, in welcher wenigstens eine der Veränderlichen in mindestens der zweiten Potenz vorkommt.

Von den Gleichungen mit quadratischen Gliedern interessiert in der experimentierenden Physik hauptsächlich die Gleichung

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1 .$$

Die durch sie dargestellte Kurve nennt man Hyperbel. Sie wird in dieser Form erhalten durch Lösen der Aufgabe, es solle der geometrische Ort aller der Punkte gesucht werden, für welche die Entfernungen von zwei gegebenen festen Punkten eine unveränderliche Differenz haben.

Nimmt man die Verbindungslinie der beiden gegebenen Punkte

als Abszissenachse (x-Achse), die in der Mitte zwischen beiden Punkten errichtete Senkrechte als Ordinatenachse (y-Achse), nennt die Entfernung beider Punkte voneinander $2e$ (Exzentrizität) und den konstanten Unterschied der Entfernungen irgendeines Punktes der Kurve von den beiden festen Punkten $2a$ (Hauptachse) und führt dann die Abkürzung $e^2 - a^2 = b^2$ ($2b$ Nebenachse) ein, so erhält man, wenn man für irgendeinen Punkt der Kurve die beiden Entfernungen ϱ_1 und ϱ_2 (Brennstrahlen) von den festen Punkten und die Ordinate zeichnet und auf die beiden, aus Brennstrahl, Ordinate und Abszissenachse gebildeten rechwinkligen Dreiecke den Pythagoräischen Lehrsatz anwendet, nach einigen leichten mathematischen Umformungen, die wesentlich darauf hinauslaufen, mit Hilfe der Bedingung $\varrho_1 - \varrho_2 = 2a$ die Brennstrahlen zu eliminieren, die obige Gleichung.

Man berechne für $2e = 40$ mm, $2a = 10$ mm, also $2b = 38{,}7$ mm nach obiger Gleichung eine Anzahl zueinander gehörige Werte von x und y, indem man eine Reihe von Werten von x, welche zwischen 5 mm und 12 mm liegen, willkürlich annimmt. Weil das Quadrat einer negativen Zahl wieder positiv ist, so erhält man für positive und negative Werte von x dasselbe Quadrat, und ebenso gibt auch die Quadratwurzel aus y^2 einen positiven und einen negativen Wert; man erhält also aus einer einzigen Rechnung sofort 4 Punkte der Kurve. Man trage die erhaltenen Punkte in Koordinatenpapier (ohne Änderung des Maßstabes) ein und verbinde die benachbarten Punkte durch einen Kurvenzug. Man erkennt, daß die Hyperbel aus zwei getrennten Ästen besteht, welche ihre konvexen Seiten einander zukehren; beide liegen symmetrisch zur Ordinatenachse und werden durch die Abszissenachse in zwei ebenfalls symmetrische Teile geteilt.

Man vergleiche die gezeichnete Kurve mit Fig. 158, Band I; sie deckt sich mit einer der Kurven aus der Schar, welche die beiden Systeme konzentrischer Kreise schneidet. Die übrigen Kurven dieser Schar sind ebenfalls Hyperbeln, welche auch dieselbe Exzentrizität $2e$, die Entfernung der beiden Wellenzentren voneinander, besitzen, deren Hauptachsen aber der Reihe nach die Werte 2, 6, 10 (das ist die gezeichnete) 14 mm usw. haben.

Die Hyperbeln in dieser Figur gaben uns die Stellen der Wasserfläche, an denen sich keine Wellenbewegung zeigt, wo sie in Ruhe bleibt. Da nun die Ruhe nur erhalten bleiben kann, wenn ein Punkt der Oberfläche gleichzeitig von zwei Seiten her nach entgegengesetzter Richtung erregt wird, und dieses nur dann eintreten kann, wenn die zusammentreffenden Wellenzüge einen Unterschied von einer halben Wellenlänge oder einem Vielfachen davon zeigen, so muß die Entfernung der Ruhepunkte von den Wellenzentren ein ungerades Vielfache der halben Wellenlänge sein, d. h. die Hauptachsen der Hyperbeln sind ungerade Vielfache der halben Wellenlänge. Man kann somit durch Beobachtung der durch Interferenz entstehenden Hyperbeln die Wellenlänge feststellen.

Man präge sich die in der erwähnten Figur dargestellten Hyperbeln ein, damit man überall, wo ähnliche Kurven auftreten, sofort die Hyperbeln erkennt (z. B. I, 162, 2).

6. Unter den Hyperbeln von gegebener Exzentrizität zeichnet sich eine aus, für welche $a = b$ ist; derartige Hyperbeln nennt man gleichseitige; in Fig. 158, Band I ist diejenige mit $2a = 14$ nahezu gleichseitig.

Die Mathematik lehrt, daß man der Gleichung einer gleichseitigen Hyperbel die Form geben kann

$$xy = \text{const.};$$

Hyperbeln dieser Form lassen sich leicht zeichnen.

Durch den Punkt des Koordinatenpapieres, durch welchen man eine gleichseitige Hyperbel zeichnen will, lege man Parallelen zur

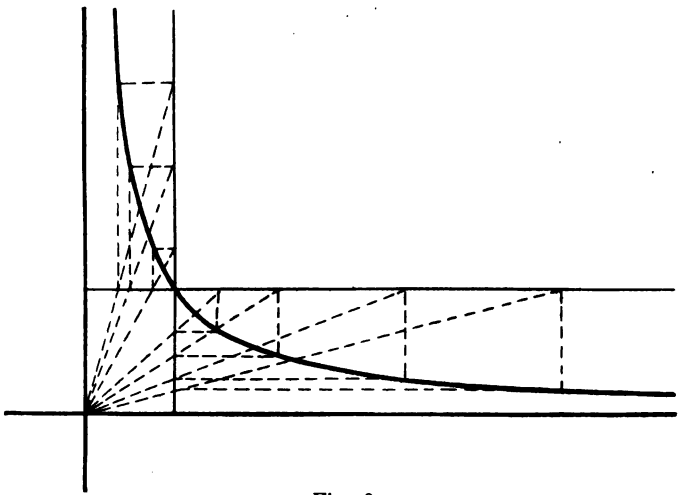


Fig. 6

Abszissen- und Ordinatenachse (Fig. 6) und markiere auf der ersteren beliebige Punkte, welche man mit dem Koordinatenanfang verbindet; diese Verbindungslinien schneiden, entweder unmittelbar oder rückwärts verlängert, die Parallele zur Ordinatenachse. Durch diese Schnittpunkte lege man Parallelen zur Abszissenachse, die sich mit den Ordinaten der zugehörigen markierten Punkte in Hyperbelpunkten schneiden. Diese Ordinaten sind in Fig. 6 nur bis zum Schnittpunkte gezeichnet.

Man zeichne nach dieser Methode auf durchsichtigem Papier (Pauspapier, Pausleinen) eine Schar von gleichseitigen Hyberbeln, damit man sie auf Kurven auflegen und so erkennen kann, ob die Beobachtungen, aus denen man die Kurven erhalten hat, dem Gesetz der gleichseitigen Hyperbeln genügen.

Wir haben oben (4, 2) durch Rechnung gefunden, daß die Gase dem Gesetz gehorchen: $pv = \text{const.}$; die der Beobachtung entsprechende

Kurve muß also, wenn die Rechnung richtig ist, eine gleichseitige Hyperbel sein. Man zeichne die Beobachtungen in Koordinatenpapier und lege das vorhin vorbereitete Papier mit der Schar von Hyperbeln darauf. Es ergibt sich, daß die Kurve sich anstandslos dieser Schar einfügt, d. h. daß sie eine gleichseitige Hyperbel ist; also ist das Gesetz richtig.

Infolge der Bequemlichkeit der graphischen Addition hat man für diese graphische Untersuchung des Boyleschen Gesetzes nicht nötig, die Umrechnung $p = b + h$ vorzunehmen, sondern man darf unmittelbar v und b in das Koordinatenpapier eintragen. Legt man das Papier mit den Hyperbeln auf die erhaltene Kurve, so erkennt man nicht nur die Form der Kurve, sondern auch noch, daß man die Abszissenachse um $p = 758{,}8$ mm verschieben, d. h. die diesem Druck entsprechende Strecke graphisch addieren muß.

7. Die Parabel (Fig. 7) wird in ihrer einfachsten Form dargestellt durch die Gleichung

$$y^2 = 2px.$$

Sie berührt, wenn man sie so darstellt, die Ordinatenachse in ihrem Scheitel und ist symmetrisch zur Abszissenachse.

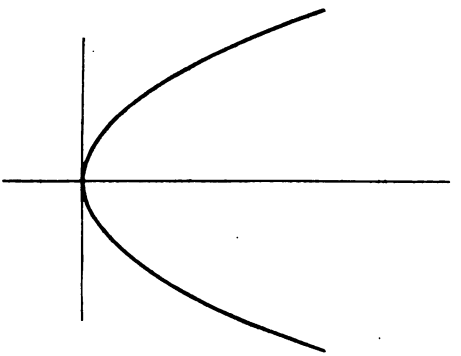


Fig. 7.

Viel Anwendung findet die Parabelgleichung in der allgemeinen und erweiterten Form

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 \ldots$$

Parabeln dieser Art nennt man Parabeln höherer Ordnung, weil hier höhere als zweite Potenzen vorkommen. Ihre Bedeutung liegt darin, daß sich jedes nicht allzulange Stück irgendeiner Kurve angenähert durch sie darstellen läßt. Erkennt man auf keine Weise zwischen den beiden Veränderlichen eine gesetzmäßige Beziehung, will aber doch das Beobachtungsmaterial in bequemer Weise festlegen, so legt man durch die die Beobachtung wiedergebende Kurve eine solche Parabel höherer Ordnung. Zur Berechnung der Konstanten a_0, a_1 usw. hat die höhere Mathematik bestimmte Regeln entwickelt. Hat man nach diesen die Konstanten so berechnet, daß sich die Parabel höherer Ordnung den Beobachtungen möglichst anschließt, so kann man dann für jeden Wert von x, der innerhalb des Beobachtungsbereiches liegt, den zugehörigen Wert von y berechnen. Man nennt deshalb derartige Formeln Interpolationsformeln.

Interpolationen lassen sich auch graphisch durchführen. In Fig. 3 ist die Kurve gegeben, welche die Beobachtungen der Fehler des untersuchten Thermometers möglichst getreu wiedergibt. Aus

dieser Kurve kann man unmittelbar ablesen, welche Korrektion für eine nicht beobachtete Temperatur anzubringen ist. Da die zu 35^0 gehörige Ordinate den Wert $+ 0{,}13$ hat, so ist dieses die Abweichung des Thermometers bei 35^0 vom richtigen Wert.

Die graphische Interpolation hat vor der rechnerischen den Vorteil, daß man nicht durch Versehen über die Grenzen der Beobachtung hinausgeht; im Beispiel würde niemand die Abweichung für 105^0 anzugeben in der Lage sein, während man Interpolationsformeln leicht zu weit ausdehnt und dann extrapoliert. Extrapolationen dürfen nur dort vorgenommen werden, wo man ein einfaches Gesetz sicher erkannt hat, welches man über das der Beobachtung unterworfen gewesene Gebiet ausdehnen darf (5, 3).

6. Hypothesenbildung. Denjenigen Physikern, welche eine hinreichende Übung im Diskutieren mathematischer Formeln haben, steht noch ein sehr eleganter und deshalb gern betretener Weg zur Auffindung physikalischer Gesetze offen: die Hypothesenbildung. Auf Grund einer durch vielfache Beschäftigung mit der Physik erlangten Erfahrung kann der Physiker zwischen zwei Veränderlichen einen Zusammenhang vermuten, ohne daß er denselben experimentell festgestellt hat. Er nimmt deshalb für diesen Zusammenhang eine ihm richtig scheinende Gleichung hypothetisch an und zieht durch eingehende mathematische Diskussion seiner Gleichung sämtliche Konsequenzen der Hypothese, die er dann alle eingehend experimentell nachprüfen muß.

Durch vielfache Beobachtungen hat sich z. B. ein enger Zusammenhang zwischen Bewegungen und Kräften ergeben; dieser veranlaßt uns, wenn wir eine beliebige Bewegung untersuchen wollen, anzunehmen, daß sich Bewegungen wie Kräfte nach dem Parallelogrammgesetz (I, 10) zusammensetzen.

Mit Hilfe dieser Hypothese wollen wir die in I, 27 aufgezeichnete Bewegung untersuchen. Es ist ohne weiteres klar, daß, wenn diese Bewegung sich aus zweien zusammensetzen soll, die eine derselben der Fall auf der schiefen Ebene ist. Die andere Bewegung müssen wir dann an der Stelle erkennen, wo die Fallbewegung den Wert 0 hat, d. h. im höchsten Punkte der Kurve, wo sich der aufsteigende Ast umwendet in den heruntergehenden. Dort beobachten wir eine horizontale Bewegung. Diese kann nur durch den Anfangsstoß erteilt sein, und da ein Stoß nur eine gleichförmige Bewegung hervorbringt, haben wir neben der Fallbewegung noch eine horizontal verlaufende Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit.

Wir nehmen die vom höchsten Punkt nach unten verlaufende Falllinie als Abszissenachse und legen auch den Anfangspunkt in diesen Punkt, weil hier die Fallbewegung beginnt. Die Fallbewegung auf der Abszissenachse verläuft (I, 23) nach der Gleichung $x = \frac{a}{2} t^2$, wenn t die vom Gipfel der Kurve ab gezählte Zeit ist. Die horizontale Tangente am Gipfel nehmen wir als Ordinatenachse;

nennen wir die konstante Geschwindigkeit in dieser Richtung c, so ist $y = ct$. Da die Kurve selbst unabhängig von der Zeit ist, erhalten wir ihre Gleichung, wenn wir aus beiden Gleichungen die Zeit eliminieren.

Aus der letzten der beiden Gleichungen erhalten wir leicht $t^2 = \frac{y^2}{c^2}$; dies in die erste eingesetzt ergibt $x = \frac{a}{2c^2} y^2$ oder durch einfache Umformung

$$y^2 = 2\frac{c^2}{a} x = 2px,$$

d. h. die Kurve muß eine Parabel sein. Daß das der Fall ist, sieht man leicht, wenn man zueinander gehörige Werte von x und y ausmisst und in die Gleichung einsetzt. Der mathematisch geübte Physiker, der schon eine große Zahl von Parabeln gesehen hat, erkennt durch bloßes Ansehen, daß die Kurve eine Parabel ist und hat das Nachmessen nicht nötig.

Da sich nun sämtliche Bewegungen aus geradlinigen zusammensetzen lassen, z. B. auch die des konischen Pendels (I, 33), so dürfen wir uns auf unsere Hypothese überall verlassen.

Die Hypothesenbildung hat die Physik ganz ungemein gefördert; so war ja das Newtonsche Gravitationsgesetz (1, 2) zunächst auch nur Hypothese und hat als solche große Erfolge gehabt. Aber nicht allen Hypothesen ergeht es wie dieser, daß sie nachher durch das Experiment bestätigt werden. Es erfordert großes Geschick, gute Hypothesen aufzustellen, denn wenn bei der Diskussion ein einziger Fall übersehen wird und dieser widerspricht, wie sich unter Umständen lange Zeit nach ihrer Aufstellung herausstellt, der Hypothese, so muß diese auch dort fallen gelassen werden, wo sie scheinbar bestätigt war. Eine Hypothese dieser Art war die Annahme eines Wärmestoffes, welche sämtliche Erscheinungen der Wärmemessung (I, 204—212) und Wärmeleitung (I, 216—220) sehr gut darzustellen erlaubte, aber versagte, als man die Umwandlung von Arbeit in Wärme (I, 213) und umgekehrt in den Kreis der Beobachtungen zog.

7. Funktionen mit mehreren Veränderlichen. Haben wir nach einer der genannten Methoden, rechnerisch, graphisch oder durch Hypothesenbildung, aus unseren Beobachtungen die Gesetzmäßigkeit herausgefunden, welche zwischen den beiden der Beobachtung unterworfen gewesenen Veränderlichen besteht, so erwächst uns unter Umständen noch die oben (1, 3) angedeutete Aufgabe, zwei oder mehrere solcher Gesetzmäßigkeiten zu einer einzigen zusammenzufassen, nämlich dann, wenn die eine der Veränderlichen von mehreren anderen, voneinander unabhängigen abhängt.

Systematisch lösen lässt sich diese Aufgabe nur auf dem Wege der höheren Mathematik. So lange nur die einfache Mathematik zur Verfügung steht, muß man sich mit besonderen Hilfsmitteln begnügen, die von Fall zu Fall wechseln.

Eine Methode, welche sich sehr bequem anwenden lässt, be-

nutzen wir beim physischen Pendel (I, 35). Dort haben wir zunächst die Abhängigkeit der Schwingungszeit vom Richtungsmoment untersucht und aus den Beobachtungen bei Benutzung der vorgeschriebenen Koordinaten eine gerade Linie $y = ax + b$ gefunden. Wir führen in diese Gleichung die wirklich beobachteten Größen ein, setzen also $y = \frac{1}{t^2}$ und $x = g \Sigma m l = r$; dann erhalten wir, indem wir gleich weiter umformen:

$$\frac{1}{t^2} = ar + b = a\left(r + \frac{b}{a}\right) = a(r + r_1).$$

Aus der letzten Form erkennt man, in Übereinstimmung mit dem oben über die Bedeutung der auf den Koordinatenachsen abgeschnittenen Strecken Gesagten, daß r_1 auch ein Richtungsmoment ist, nämlich das des Pendels, wenn die veränderlichen Platten das Richtungsmoment 0 haben. Wir setzen deshalb von jetzt ab $r + r_1 = R$ und finden dann $\frac{1}{t^2} = aR$ oder $t^2 = \frac{1}{aR}$ oder $t = \frac{1}{\sqrt{aR}} = \alpha \frac{1}{\sqrt{R}}$, wenn wir $\frac{1}{\sqrt{a}} = \alpha$ setzen.

In vollständig gleicher Weise lässt sich aus der im zweiten Versuch erhaltenen geraden Linie ableiten $t = \beta\sqrt{\tau}$, wenn τ das Trägheitsmoment des ganzen Pendels mit Bleiplatten ist.

Beide Gleichungen für t sollen jetzt vereinigt werden. Während der Untersuchung der Abhängigkeit der Schwingungszeit vom Richtungsmoment ist das Trägheitsmoment unverändert erhalten geblieben. Würde man während dieser Untersuchung ein anderes Trägheitsmoment konstant beibehalten haben, so würde zwar die Form des Gesetzes dieselbe geblieben sein, aber die Konstante α würde einen anderen Wert erhalten haben. Es ist einleuchtend, daß die Abhängigkeit des Proportionalitätsfaktors α vom Trägheitsmoment dieselbe sein muß, wie die in der zweiten Versuchsreihe festgestellte Abhängigkeit der Schwingungszeit vom Trägheitsmoment, d. h. wir dürfen setzen $\alpha = \pi\sqrt{\tau}$, wo π zunächst nur die Bedeutung eines Proportionalitätsfaktors hat. Setzen wir das für α oben ein, so erhalten wir

$$t = \pi\sqrt{\frac{\tau}{R}}.$$

Genau dasselbe würden wir erhalten haben, wenn wir von $t = \beta\sqrt{\tau}$ ausgegangen wären; hier hätten wir auf Grund derselben, auch experimentell leicht zu bestätigenden Überlegung zu setzen gehabt $\beta = \frac{\pi}{\sqrt{R}}$ und hätten dann dasselbe Resultat gefunden.

In dieser Weise sind alle diejenigen Fälle zu behandeln, in denen der Proportionalitätsfaktor der einen Gleichung von der Veränderlichen der anderen Gleichung abhängt. Ob das der Fall ist, entscheidet der Versuch, indem man die Abhängigkeit der abhängigen

Veränderlichen von der einen Unabhängigen in zwei Versuchsreihen prüft, in denen die andere Unabhängige verschiedene Werte hat.

2. Es gibt aber auch Fälle, in denen die Konstante der einen Partialgleichung unabhängig ist von der Veränderlichen der anderen Partialgleichung. Ein solcher Fall liegt vor in der Zustandsgleichung der Gase. Wir haben gefunden (I, 183) $v = v_0 (1 + \alpha t)$ und $p = p_0 (1 + \alpha t)$. In der ersten Gleichung ist nichts, was von p, in der zweiten nichts, was von v abhängt, wenigstens nicht in unmittelbar erkennbarer Form. Um beide Gleichungen miteinander zu vereinigen, müssen wir uns nach einer dritten Gleichung umsehen. Eine solche haben wir in der Mechanik der Gase (I, 105) in dem bei konstanter Temperatur gültigen Gesetz $pv = \text{const.}$ gefunden.

Von dieser Gesetzmäßigkeit läßt sich in verschiedener Weise Gebrauch machen. Wir können, wie in I, 183, 3 vorgeschrieben, bei der Änderung der Temperatur des Bades das Trichterrohr ruhig hängen lassen. Dann ändern sich Druck und Volumen gleichzeitig. Wir benutzen nun das Gesetz aus der Mechanik, daß bei der gerade vorhandenen Temperatur des Bades pv eine Konstante ist, und suchen in einer genau gleichen Weise die Abhängigkeit dieser Konstanten pv von der Temperatur, wie vorher bei konstant gehaltenem Druck die Abhängigkeit des Volumens, bezw. bei konstantem Volumen die des Druckes von der Temperatur festgestellt worden ist. Man erhält dann $pv = p_0 v_0 (1 + \alpha t)$.

Man kann aber auch in etwas anderer, der vorher benutzten ähnlichen Weise vorgehen, indem man irgendeine Temperatur des Bades konstant erhält und das Gesetz $pv = \text{const.}$ für diese Temperatur nachweist; dann eine ähnliche Versuchsreihe für eine andere Temperatur des Bades durchführt usw. Man findet dann für die Konstanten verschiedene Werte, deren Abhängigkeit von der Temperatur rechnerisch oder graphisch sich zu $a(1 + \alpha t)$ ergibt, so daß man also erhält $pv = a(1 + \alpha t)$. Macht man eine Versuchsreihe bei der Temperatur des schmelzenden Eises, so erhält man $a = p_0 v_0$, also $pv = p_0 v_0 (1 + \alpha t)$.

Man kann aber auch einfach, wenn man die Partialgleichungen vor sich sieht, die Hypothese $pv = p_0 v_0 (1 + \alpha t)$ machen; daraus erhält man für

konstante Temperatur	$pv = \text{const.}$,
für konstantes Volumen v_0	$p = p_0 (1 + \alpha t)$,
für konstanten Druck p_0	$v = v_0 (1 + \alpha t)$.

Die Hypothese wird in all ihren Konsequenzen bestätigt, wir dürfen sie also als richtig ansehen.

8. Aufgabe der theoretischen Physik. Die experimentierende Physik ist nur imstande, die einfachsten Gesetze festzustellen, soweit sie dem Experiment selbst unmittelbar zugänglich sind. Man erhält durch sie eine große Zahl unvermittelt nebeneinander stehender Gesetze. Das Prinzip der Einfachheit verlangt aber, daß auch die Zahl der

Gesetze eine möglichst kleine sei; es müssen die von der experimentierenden Physik aufgestellten zusammengefaßt werden unter allgemeinere, umfassendere Gesetze. Das ist die Aufgabe der theoretischen Physik.

Wir haben einzeln die Lage von Gegenstand und Bild festgestellt bei der Reflexion an ebenen Flächen, an Hohlspiegeln und erhabenen Spiegeln von kleiner Öffnung und solchen von großer Öffnung. Alle Gesetze haben das Gemeinschaftliche, daß sie von der Reflexion handeln; hier muß die theoretische Physik ein diese Einzelfälle umfassendes Gesetz entwickeln. Sie muß zunächst untersuchen, zu welchen Forderungen das an ebenen Spiegeln festgestellte Gesetz führen würde, wenn wir die ganz kleinen Teilchen der gekrümmten Spiegel als Ebenen ansehen, welche alle so gegeneinander geneigt sind, daß sie einen Teil einer Kugelfläche bilden.

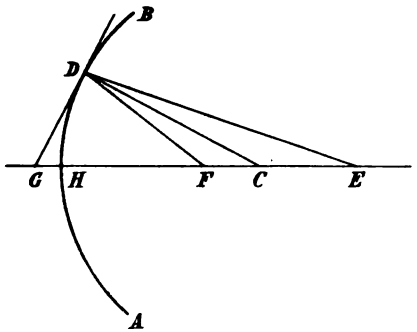


Fig. 8.

Es sei AB (Fig. 8) ein Hohlspiegel aus einer Kugel mit dem Mittelpunkte C. Wir nehmen an, in D sei ein so kleines Flächenstückchen, daß wir es als eben ansehen dürfen; seine Normale ist nach dem Mittelpunkt C der Kugel gerichtet. Der auf das Flächenstückchen von E fallende Lichtstrahl wird nach dem an ebenen Spiegeln gefundenen Gesetze so reflektiert, daß $\sphericalangle EDC = \sphericalangle CDF$. Ziehen wir in D eine Tangente DG an den Spiegel, die definitionsgemäß senkrecht steht auf dem Radius DC, so bilden nach den Sätzen der Mathematik die vier Geraden DE, DC, DF, DG ein harmonisches Büschel, und daraus folgt:

$$\frac{GE}{GF} = \frac{CE}{CF}.$$

Ist der Winkel DCG nur klein, d. h. hat der Spiegel nur eine kleine Öffnung, so fällt der Punkt G so nahe mit der Mitte H zusammen, daß wir unter Berücksichtigung der unvermeidlichen Beobachtungsfehler die geringe Entfernung beider voneinander vernachlässigen dürfen. Unter dieser Annäherung ist

$\overline{GE} = a$ die Entfernung des Gegenstandes vom Spiegel,
$\overline{GF} = b$ die des Bildes,

und wenn wir den Radius der Kugel mit r bezeichnen,

$$\overline{CE} = \overline{GE} - \overline{GC} = a - r$$
$$\overline{CF} = \overline{CG} - \overline{GF} = r - b.$$

Setzen wir diese Werte in die eben abgeleitete Proportionsgleichung ein, so erhalten wir $\frac{a}{b} = \frac{a-r}{r-b}$.

Daraus folgt durch Umformung:

$$r\,a - a\,b = a\,b - b\,r$$

$$r\,a + r\,b = 2\,a\,b.$$

$$\frac{r\,b}{r\,a\,b} + \frac{r\,a}{r\,a\,b} = \frac{2\,a\,b}{r\,a\,b}$$

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{2}{r}.$$

Wir haben also dieselbe Formel aus dem Reflexionsgesetz an ebenen Flächen abgeleitet, welche wir durch unmittelbare Beobachtung gefunden hatten. Gleichzeitig erkennen wir auch, daß die einfachen Gesetze für die Spiegel nur gelten, solange man die Streke $\overline{G\,H}$ vernachlässigen darf, d. h. so lange die Öffnung des Spiegels nur klein ist.

Das einfache Reflexionsgesetz umfaßt also sämtliche Fälle der Reflexion. —

Wie man aus diesem Beispiel ersieht, benutzt die theoretische Physik sehr stark die Mathematik, sie wird deshalb auch mathematische Physik genannt.

II. Optik.

9. Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes. 1. Man halte drei durchbohrte Metallscheiben so hintereinander, daß die drei Löcher eine gerade Linie bilden, und blicke durch die Löcher nach einer hinter den Scheiben befindlichen Lichtquelle; man verschiebe eine der Öffnungen. Was folgt aus der Erscheinung in bezug auf die Fortpflanzungsrichtung des Lichtes? — 2. Man beobachte, wenn das Licht der Sonne durch einen Spalt im Fensterladen in das sonst dunkle Zimmer fällt, an den in der Luft schwebenden, beleuchteten Staubteilchen den Weg des Strahlenbündels. — 3. Man befestige zwei Stricknadeln auf einem Bänkchen (Fig. 9) und stelle einen Schirm

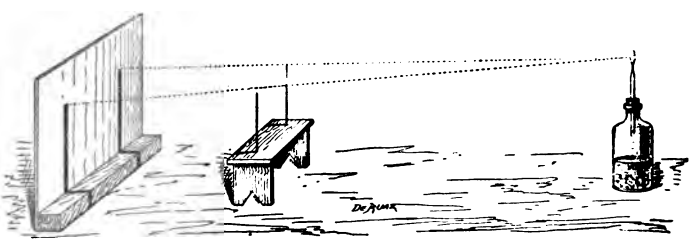


Fig. 9.

parallel zu ihrer Verbindungsrichtung. Wie ändert sich die Entfernung der Schatten voneinander mit der Änderung der Entfernung des Schirmes von der Lichtquelle? Was folgt daraus in bezug auf die von Lichtquelle und Nadeln einerseits und von Lichtquelle und Schatten andererseits gebildeten Dreiecke und hieraus in bezug auf die Fortpflanzungsrichtung des Lichtes? — 4. Camera obscura. Man lasse das Licht einer Kerze durch ein mit einer Nadel in ein Stück Pappe gestochenes feines Loch gehen (Fig. 10) und fange das Bild auf einem Schirm auf. Warum ist das Bild verkehrt? Welchen Einfluß hat die Entfernung des Schirmes auf die Größe und die Lichtstärke des Bildes? — Man baue sich ein Kästchen, dessen eine Wand durch ein mattgeschliffenes Glas gebildet wird; in der gegenüberliegenden Wand bringe man eine Öffnung an, vor der man ein

mit einer feinen Nadel durchstochenes Stanniolblatt befestigt. Verfügt man über einen photographischen Apparat, so schraube man das Objektiv heraus und ersetze es durch das durchstochene Stanniolblatt. Man richte die Öffnung durch das Fenster und beobachte auf dem Glas die umgekehrten Bilder der außen befindlichen Gegenstände. Um die Bilder schärfer erkennen zu können, bedecke man sich und den Kasten mit einem Tuch. — Hat man einen Heliostaten zur Verfügung, so bringe man vor die im Zimmer befindliche Rohröffnung einen durchlochten Schirm und beobachte auf der hinteren Wand des verdunkelten Zimmers die Bilder der in der Nähe der Sonne befindlichen, hell beleuchteten Wolken. — 5. Sehwinkel. Man verschiebe einen vertikal gehaltenen Stab, so daß von den beiden von einem Punkt (z. B. dem Auge) nach seinen Enden gesandten Visierlinien die eine stets senkrecht zum Stab bleibt, und berechne aus der Länge des Stabes und seinen Entfernungen von dem Punkte die Abhängigkeit der Sehwinkel von diesen Entfernungen, indem man wegen der Kleinheit der Winkel diese selbst an Stelle ihrer trigonometrischen Tangenten einführt. — Man wiederhole den Versuch für schräge Stellungen des Stabes. Wie ist der Sehwinkel von der Stellung des Stabes abhängig?

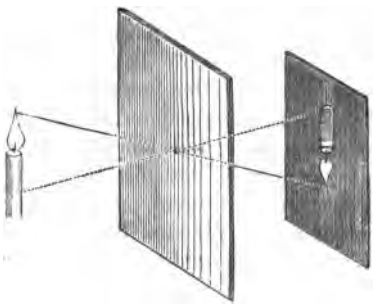


Fig. 10.

10. Schatten. 1. Man stelle sich eine Azetylenlampe her, indem man in eine Flasche zerkleinertes Kalziumkarbid und so viel Brennspiritus bringt, daß letzterer das Karbid gerade bedeckt. Je nach der gewünschten Stärke der Gasentwickelung gieße man allmählich mehr und mehr Wasser hinzu. Den Hals der Flasche verschließe man mit einem Kautschukstopfen, der durch eine Glasröhre geht; das untere Ende der Röhre ist abgeschrägt, damit die mitgenommenen Flüssigkeitsteilchen leicht abtropfen können, das obere Ende der Röhre ist zu einer Spitze ausgezogen (Fig. 11). — 2. Man stelle sich eine nahezu punktförmige Lichtquelle her, indem man vor die Azetylenlampe oder auch elektrische Glühlampe, deren Fäden hintereinander stehen, einen schmalen Spalt bringt, der rechtwinklig zur Flamme steht. Man halte vor eine solche punktförmige Lichtquelle undurchsichtige Körper verschiedener Gestalt (Dreieck, Kugel usw.) und vergleiche die Gestalt des Gegenstandes mit der seines auf einem ihm parallel gehaltenen Schirm entstehenden Schattens. Welche

Fig. 11.

Gestalt hat der Schattenraum? (9, s) — 3. Man entwerfe mit Hilfe einer scheibenförmigen Lichtquelle, welche man erhält, wenn man über eine beliebige Lichtquelle eine Kugel aus Milchglas stellt, den Schatten einer Kugel und beobachte für verschiedene Entfernungen der Kugel die Größe von Kern- und Halbschatten. In einer Zeichnung, in der man Lichtquelle, schattenwerfenden Körper und Schirm als drei einander parallele Geraden zeichnet und die Lichtquelle in etwa sechs gleiche Teile zerlegt, zeige man die allmähliche Abnahme der Intensität der Schatten, indem man von den Endpunkten der einzelnen Teile der Lichtquelle gerade Linien durch die Endpunkte des schattenwerfenden Körpers bis auf den Schirm zieht und die Teile des Schirmes mit fortlaufenden Nummern versieht, je nachdem sie von keinem, einem oder mehreren Teilen der Lichtquelle beleuchtet werden. — Welche Beziehung müssen die Durchmesser der beiden Kugeln zueinander haben, damit der Kernschatten in eine Spitze ausläuft? (Fig. 12). Man suche mit dem Schirm die Spitze, messe

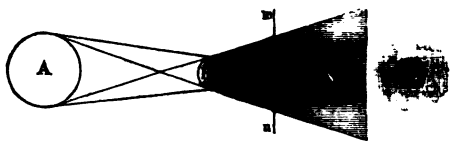


Fig. 12.

die Entfernungen der beiden Kugeln vom Schirm und vergleiche ihr Verhältnis mit dem der Durchmesser. — 4. Man werfe Kern- und Halbschatten eines Stabes auf einen Schirm. Dann halte man hinter diesen Stab rechtwinklig zu ihm einen anderen und beobachte die Schattenform innerhalb der von den Schatten gebildeten Winkel. Man zeichne diese Erscheinung auf, indem man nach der vorher angegebenen Methode für jeden Stab die Grenzen der Kern- und verschiedenen Halbschatten durch parallele, gleichweit voneinander entfernte gerade Linien bezeichnet, die Intensität der Kernschatten etwa mit der Ziffer 4 und die der zu beiden Seiten derselben schwächer werdenden Halbschatten mit 3, 2, 1 nummeriert. Die in den einzelnen übereinandergreifenden Teilen der Schatten herrschende Intensität kann die den Kernschatten entsprechende Zahl auch bei Kreuzung zweier Schatten nicht überschreiten. Man ahme die Erscheinung durch verschiedene Schraffierung nach oder indem man mit immer heller werdenden Farben tuscht.

11. Photometer. 1. Mattscheibenphotometer. Man baue ein Kästchen, in dem der Boden und 2 Seitenwände quadratisch geformt sind, von etwa 20 cm Seitenlänge (Fig. 13); die beiden anderen Seitenwände mache man nur 5 cm hoch. Man teile dies Kästchen in zwei Hälften durch eine größere Mittelwand aus Kartonpapier, die sich in einer Rinne der einen und einem Schlitz der anderen der größeren Wände bewegen kann. In der Mitte des Bodens bohre man ein etwa 5 cm weites Loch, vor welchem man im Innern des

Kästchens ein mattgeschliffenes Glas oder ein Blatt Pauspapier mittels Klebewachs befestigt. Man schwärze die Mittelwand auf beiden Seiten mit Ruß oder benutze schwarzes Kartonpapier.

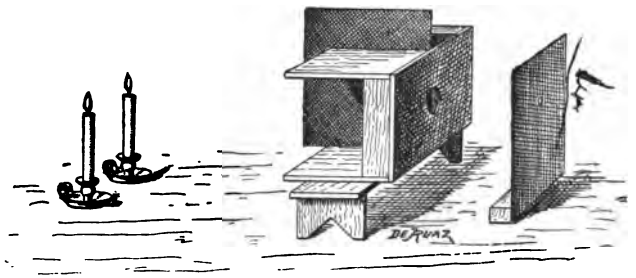


Fig. 13.

Man lege dies Kästchen auf eine der größeren Seitenflächen und stelle vor die Öffnung zwei gleichartige Kerzen symmetrisch zur Mittelwand so auf, daß ihre Flammen in gleicher Höhe mit dem Loch stehen und jede von ihnen nur einen Teil des vor dem Loch befindlichen Glases beleuchten kann. Dabei verschiebe man die Mittelwand derart, daß gerade die Mitte des Glases die Grenze zwischen beiden Beleuchtungen bildet. Vor das Loch stelle man einen Schirm, so daß man durch ein in ihm in der Höhe des Glases befindliches Loch die beiden Beleuchtungen beobachten kann.

Man verschiebe die Kerzen, bis man auf dem Glas keinen Unterschied in der Beleuchtung erkennen kann, und vergleiche die Abstände der Kerzen vom Glas.

Man kann sich auch ein flaches, inwendig geschwärztes Kästchen bauen, auf dessen Boden man einen mit weißem Papier überzogenen

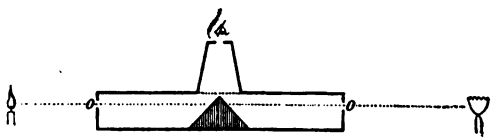


Fig. 14.

hölzernen Keil legt und in dessen den Flächen gegenüberstehende Seitenwänden man Öffnungen *o* anbringt (Fig. 14), so daß das durch diese kommende Licht auf die Keilflächen fallen kann, möglichst nahe der Kante des Keiles, damit diese vollständig beleuchtet ist. Unmittelbar über dem Keil ist eine Öffnung, welche man mit der Mattscheibe bedeckt. Über diese stelle man ein Rohr, dessen oberer Boden ein kleines Loch trägt, durch welches man die Scheibe beobachtet.

2. Schattenphotometer. Man halte vor ein weißes Blatt Papier einen Bleistift, der von zwei gleichartigen Kerzen beleuchtet

wird (Fig. 15), und verschiebe diese, bis die beiden, dicht nebeneinander gebrachten Schatten des Bleistiftes dem senkrecht vor der Grenze beider Schatten befindlichen Auge gleichbeleuchtet erscheinen. Man vergleiche die Entfernungen beider Lichtquellen vom Schirm.

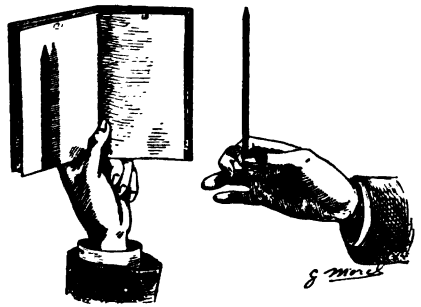


Fig. 15.

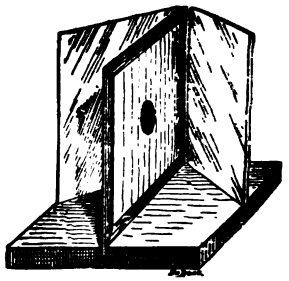


Fig. 16.

3. Fettfleckphotometer. Man spanne ein Stück mattes Papier, in dessen Mitte man durch eine Lösung von Paraffin oder Stearin in Benzin einen Fettfleck erzeugt hat, in einen Rahmen und stelle diesen in einen auf einem Brett angebrachten tiefen Längsschnitt. Auf demselben Brett bringe man zu beiden Seiten dieses Schnittes, unter Winkeln von 45^0 gegen diesen, zwei von einem seiner Enden ausgehende andere Einschnitte an und befestige in ihnen je einen mit der spiegelnden Fläche nach innen gerichteten Spiegel (Fig. 16).

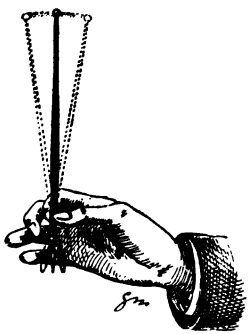


Fig. 17.

Man stelle zwei gleichartige Kerzen auf verschiedenen Seiten der Mittelwand so auf, daß die Strahlen senkrecht auf den Fleck fallen. Man verschiebe eine der Kerzen, bis zuerst das eine, dann das andere Spiegelbild des Fleckes eben verschwindet, nehme aus beiden Entfernungen dieser Kerze vom Schirm das Mittel und vergleiche es mit der Entfernung der anderen.

4. Kugelphotometer. Mittels Klebewachs befestige man am Ende eines Stabes eine blanke Stahlkugel (Fig. 17). Man halte den Stab mit nach oben gerichteter Kugel zwischen zwei gleichartige Lichtquellen und bewege ihn schnell bei festgehaltener Hand vor und zurück. Man ändere die Entfernung einer der Lichtquellen vom Stabe, bis die Bänder, in welche die Spiegelbilder der Lichtquellen durch die Bewegung der Kugel auseinandergezogen werden, dieselbe Helligkeit zeigen, und vergleiche die Entfernungen der beiden Lichtquellen.

Die Anwendung dieses Photometers empfiehlt sich vornehmlich für wenig leuchtendes Licht.

12. Lichtstärke. Beleuchtungsstärke. 1. Abhängigkeit von der Entfernung. Man untersuche mit Hilfe des Photometers mit durchscheinender Scheibe 5 Kerzen auf Gleichheit, indem man die eine Hälfte der Scheibe durch eine Kerze beleuchtet und dann der Reihe nach die übrigen 4 Kerzen vor die andere Hälfte bringt. Erweisen sie sich nicht als gleich, so ändere man den Docht, bis Gleichheit erreicht ist. Dann stelle man, während die eine Kerze vor der einen Hälfte der Scheibe stehen bleibt, vor die andere Hälfte 2 Kerzen dicht nebeneinander und reguliere ihre Entfernung von der Scheibe so, daß die Scheibenhälften gleichbeleuchtet sind. Ebenso verfahre man mit 3 und schließlich mit 4 nebeneinanderstehenden Kerzen. In welcher Beziehung steht das Quadrat dieser Entfernungen zur Zahl der benutzten Kerzen? Was folgt daraus für die Abnahme der Beleuchtungsstärke mit zunehmender Entfernung, und in welcher Beziehung steht dieses Gesetz zur Abhängigkeit der Kugeloberfläche vom Radius?

2. Abhängigkeit vom Einfallswinkel. Man stelle eine Lichtquelle so auf, daß sie die eine Hälfte des Mattscheibenphotometers beleuchtet, während die andere Hälfte von den Strahlen einer von zwei vorher auf Gleichheit untersuchten Kerzen senkrecht getroffen wird. Man reguliere die Entfernung dieser Kerze so, daß beide Hälften gleichbeleuchtet sind. Man verdoppele die Beleuchtungsstärke der einen Hälfte, indem man die zweite Kerze neben die erste stellt, und verschiebe beide Kerzen auf einem um die Mitte der Scheibe gelegten Kreisbogen, bis man die frühere Beleuchtungsstärke wieder erreicht hat. In welcher Beziehung stehen die beiden Werte der Beleuchtungsstärke zu den Kosinus der zugehörigen Einfallswinkel, d. h. der Winkel zwischen den einfallenden Strahlen und der auf der Mitte der Scheibe senkrecht stehenden Geraden?

3. Messung von Lichtstärken. Die Einheit der Lichtstärke ist die mit Amylacetat gespeiste, 40 mm hoch brennende Hefnerkerze (HK). Man bestimme in dieser Einheit die Lichtstärke einer Petroleumlampe, Gasglühlichtlampe oder elektrischen Glühlampe. Um in kleineren Räumen die Lichtstärke der Knallgasflamme oder des Bogenlichtes zu messen, vergleiche man das Licht zunächst mit dem einer Glühlampe und diese dann mit einer HK.

Man lasse das Licht eines Argandbrenners durch einen vertikalen schmalen Spalt gehen, den man zunächst vor die Mitte und dann mehr oder weniger seitwärts setzt, und messe die Lichtstärken in den so erhaltenen Durchschnitten durch die Flamme, indem man für jeden den Vergleich mit derselben Lichtquelle, etwa einer Kerze durchführt. Man wiederhole den Versuch, nachdem man über den Argandbrenner eine Glocke aus Milchglas gesetzt hat. Wie ändert sich in beiden Fällen die Lichtstärke mit dem Kosinus des Emissionswinkels, d. h. des Winkels zwischen dem Lichtstrahl und der auf der Oberfläche des strahlenden Körpers senkrechten Geraden?

4. Messung von Beleuchtungsstärken. Die Beleuchtungsstärke, welche 1 HK auf einer Kugelfläche mit dem Radius 1 m Entfernung erzeugt, nennt man eine Meterkerze. 50 Meterkerzen oder 1 Lux ist die beste Beleuchtung zum Lesen.

Man berechne die durch eine Arbeitslampe beim Lesen oder Schreiben erzeugte Beleuchtungsstärke, indem man die Entfernung der Lampe vom Papier und den Einfallswinkel der Lichtstrahlen auf das Papier bestimmt und die Lichtstärke der Lampe in HK feststellt.

5. Vergleich farbiger Lichtquellen. Man vergleiche mit Hilfe eines der Photometer zwei gleichstarke, aber durch vorgehaltene farbige Gläser verschieden gefärbte Lichtquellen und zeige, daß das Auge in der Beurteilung der Gleichheit der Helligkeit unsicher ist. Man vergleiche eine Petroleumlampe und einen Auerbrenner, indem man die durch die verschiedene Färbung hervorgerufene Schwierigkeit in der Beurteilung der Helligkeit durch vorgehaltene Gläser von derselben Farbe vermeidet.

---

13. Reflexion. 1. Man lege ein Lineal mit nach oben gerichtetem Maßstab mit seinen Enden wagrecht auf zwei Unterlagen (Fig. 18), schlinge um das Lineal den Faden eines Bleilotes und lasse

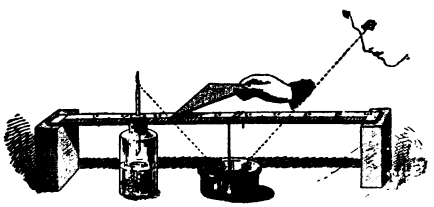


Fig. 18.

dieses in ein seitlich unter dem Lineal stehendes, mit durch Tinte gefärbtem Wasser gefülltes Gefäß tauchen. Man stelle neben Gefäß und Lineal eine Kerze oder eine kleine Azetylenlampe und betrachte ihr Bild im Wasser, wobei man die Visierlinie durch das Ende des Lotes gehen läßt. Wie liegen die vom Einfallslot und dem einfallenden Strahl einerseits und die vom Einfallslot und dem reflektierten Strahl andererseits gebildeten Ebenen zueinander? Man messe Einfalls- und Reflexionswinkel, d. h. die Winkel, welche der einfallende, bezw. der reflektierte Strahl mit dem Lote bilden, indem man mit einem Zeichendreieck längs des Lineals an den einfallenden bezw. an den reflektierten Strahl so weit herangeht, daß man das Bild eben noch sehen kann, und aus der Entfernung der so erhaltenen Punkte des Lineals vom Einfallslot und der Länge dieses Lotes die trigonometrischen Tangenten der beiden Winkel berechnet. Was ergibt der Vergleich dieser Winkel?

2. Man stelle einen Spiegelglasstreifen, den man mit etwas Klebewachs gegen einen Kantel befestigt hat, vertikal auf ein mit

einem Blatt Papier versehenes Zeichenbrett (Fig. 19). Vor dem Spiegel bringe man auf dem Papier zwei kleine Stifte an, den einen (A) in größerer Entfernung rechtwinklig vor dem Ende des Spiegels, den anderen (B) mehr nach der Mitte zu und nahe vor dem Spiegel. Man gebe nun dem Auge eine solche Stellung, daß es mit den beiden Spiegelbildern (A' und B') in einer geraden Linie liegt und befestige vor dem Spiegel längs dieser Richtung zwei neue Stifte (D und C). Man ziehe die Richtung der beiden ersten und ebenso der beiden letzten Stifte mit Bleistift nach. Wie liegt der Schnittpunkt

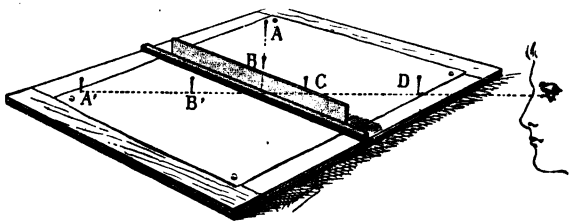


Fig. 19.

beider Linien zum Spiegel? Man ziehe in diesem Punkt das Einfallslot, d. h. die in diesem Punkt zum Spiegel senkrechte Gerade und vergleiche Einfalls- und Reflexionswinkel.

Man wiederhole den Versuch für verschiedene Stellungen des dicht vor dem Spiegel befindlichen Stiftes B und verlängere die Richtungen sämtlicher reflektierten Strahlen rückwärts. Wo schneiden sie sich?

Man bewege einen Nagel hinter dem Spiegel, bis für jede Stellung des Auges dieser Nagel und das Bild des Stiftes A sich decken. Wie liegt der Ort dieses Nagels zu dem vorher gefundenen Schnittpunkt?

Wie liegen der Gegenstand und sein Bild zum Spiegel? Wie kann man die Entfernung des Auges vom Spiegelbild bestimmen, wenn man die gegenseitige Lage von Gegenstand und Spiegel kennt?

3. Man stelle vor eine unbelegte Spiegelglasplatte eine brennende Kerze, verschiebe hinter der Scheibe eine nicht brennende Kerze, bis sie mit dem Bilde der ersteren zusammenfällt und selbst zu brennen scheint, und vergleiche die Stellungen beider Kerzen zum Spiegel.

4. Man bringe eine brennende Kerze zwischen zwei einen Winkel bildende Spiegel. Wie liegen Kerze und Bilder zur Schnittkante beider Spiegel geordnet? Wie groß ist die Anzahl der Bilder, zu denen man die Kerze selbst hinzuzählt, für einen Winkel von 45, 60, 72 oder 90^0, und welche Beziehung hat sie zum Winkel; wie groß ist die Zahl, wenn die Spiegel einander parallel gegenüberstehen?

5. Man stelle einen Spiegel und eine unbelegte Spiegelglasscheibe rechtwinklig zueinander auf ein Zeichenbrett (Fig. 20), lege auf dieses irgendeinen flachen Gegenstand und zeichne die Bilder

auf einem auf dem Zeichenbrett befestigten Papier nach. Sind sie dem Original kongruent oder zu ihm symmetrisch?

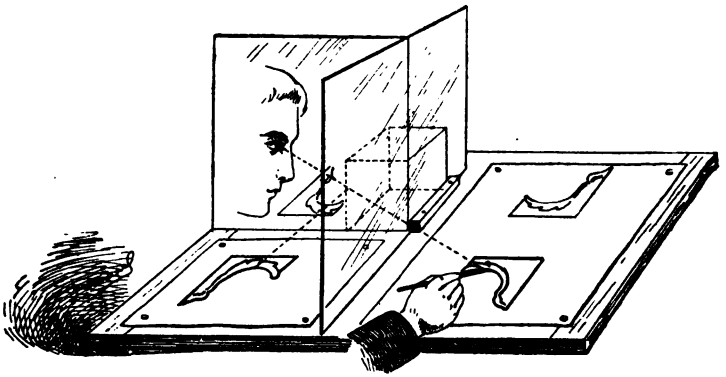


Fig. 20.

6. Man stelle eine Kerze nahe vor einen Spiegel und blicke möglichst schräg auf den Spiegel. Welche Erscheinung beobachtet man, und an welchen Flächen müssen wiederholte Reflexionen stattfinden, um diese Erscheinung zustande zu bringen? Man vergleiche diese Erscheinung mit der letzten Beobachtung in 13, 4.

14. Reflektierte Lichtmenge. Man reguliere bei einem der Photometer die Entfernungen zweier Lichtquellen, deren Strahlen senkrecht auffallen, derart, daß die von beiden erzeugten Beleuchtungsstärken gleich sind. Dann ersetze man eine der Lichtquellen durch einen so gestellten Spiegel, daß die von ihm reflektierten Strahlen derselben das Photometer senkrecht treffen. Man verhindere die direkte Bestrahlung des Photometers durch diese Lichtquelle und reguliere nun ihre Stellung so, daß ihr virtuelles Bild an demselben Ort sich befindet, wie sie vorher. Man verschiebe die direkt strahlende Lichtquelle, bis auf dem Photometer dieselbe Beleuchtungsstärke erzeugt wird, und berechne die Lichtstärke des als Lichtquelle aufgefaßten virtuellen Bildes. Das Resultat gibt die reflektierte Lichtmenge. Man führe diesen Versuch für verschiedene Einfallswinkel aus und gebe die Resultate in Prozenten der Lichtstärke der benutzten Lichtquelle an. Man untersuche in gleicher Weise verschiedene spiegelnde Flächen, wie Spiegelglasplatten oder gewöhnliches Glas, sowie mit Zinnfolie belegte oder versilberte Spiegel, poliertes und nicht poliertes Metall.

15. Reflexionsgoniometer. Man ziehe auf dem Zeichenbrett einen größeren, in Grade geteilten Kreis und konzentrisch zu diesem einen bedeutend kleineren; auf den kleineren Kreis lege man eine gleichgroße Pappscheibe, welche einen auf die Teilung des großen Kreises weisenden Zeiger besitzt. Außerhalb dieser Scheibe, in der Richtung zweier Radien, stelle man zwei schmale Brettchen auf, von

denen das eine an jedem Ende einen vertikal gestellten Nagel, das andere ein horizontal liegendes Rohr trägt, dessen Öffnungen bis auf ein kleines in der Mitte befindliches Loch verschlossen sind. Das äußere Ende der Röhre füge man in einen größeren Schirm, damit nur die durch das Rohr gehenden Strahlen einer vor dem Schirm stehenden Lichtquelle auf die Mitte des Zeichenbrettes gelangen können.

Man stelle auf die Pappscheibe ein Prisma so, daß die aus dem Rohr kommenden Strahlen an einer seiner Flächen reflektiert werden und man mit Hilfe des Visierbrettchens das Spiegelbild der Rohröffnung erblickt. Dann drehe man die Pappscheibe, bis man in der nächsten Prismenfläche wieder das Spiegelbild erblickt. Mit Hilfe von Skala und Marke bestimme man die Größe des Drehungswinkels der Scheibe. In welcher Beziehung steht dieser Winkel zu dem Winkel, welchen die beiden spiegelnden Flächen des Prismas miteinander bilden? Die Messung wird am genauesten, wenn die Kante der beiden spiegelnden Flächen durch die Mitte der Scheibe geht.

Poggendorffsche Spiegelablesung. Man beobachte mit dem Visierbrettchen das Bild der Öffnung in einer der Prismenflächen. Dann drehe man das Prisma um einen kleinen Winkel und verschiebe das Visierbrettchen, bis man wieder das Bild in derselben Prismenfläche erblickt. In welcher Beziehung stehen die beiden Winkel zueinander, um die man das Prisma und das Visierbrettchen gedreht hat?

16. Brennpunkt eines Hohlspiegels. Man lasse das Licht einer etwas entfernt stehenden Azetylenlampe durch eine Anzahl in einem Blatt Kartonpapier geschnittener, möglichst dicht nebeneinander liegender feinen Spalte auf einen zylindrischen Hohlspiegel von kleiner Öffnung MCM' (Fig. 21) parallel zur Hauptachse CO auffallen. Um die Parallelität der einfallenden Strahlenbündel deutlich erkennen zu können, halte man den Spiegel gegen einen rechtwinklig zu den Spalten stehenden Schirm. Man verfolge den Gang der reflektierten Lichtstrahlen und vergleiche die Entfernung ihres Schnittpunktes F (Brennpunkt) vom Spiegel mit der des Krümmungsmittelpunktes C. Durch Zigarrenrauch oder Salmiaknebel kann man den Gang der Strahlen noch deutlicher sichtbar machen.

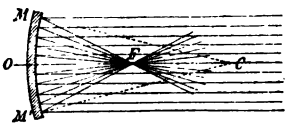


Fig. 21.

17. Gang der Lichtstrahlen beim Hohlspiegel. Man stelle einen streifenförmigen zylindrischen Hohlspiegel auf ein mit einem Blatt Papier versehenes Zeichenbrett (Fig. 22) und befestige einen Stift auf der Achse, nahe vor dem Spiegel. Man verfahre, um die Richtung der reflektierten Strahlen, sowie den Ort des virtuellen Bildes feststellen zu können, wie für den ebenen Spiegel (13, 2.) Man vergleiche Einfalls- und Reflexionswinkel.

Man befestige den Stift auf der Achse des Spiegels in einer Entfernung, die größer ist als der Radius, und suche in ähnlicher Weise

wie vorher den Schnittpunkt der reflektierten Strahlen. Liegt er hinter oder vor dem Spiegel?

Man stelle denselben Versuch auch für einen nahe vor dem

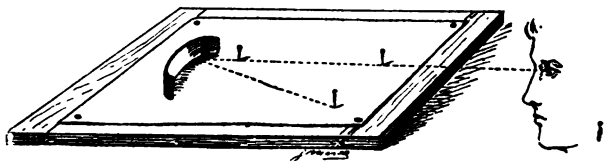


Fig. 22.

Mittelpunkt und dann für einen in diesem selbst befestigten Stift an. In welcher Richtung werden die vom Mittelpunkt kommenden Strahlen reflektiert?

18. Bilder des Hohlspiegels. Man stelle im verdunkelten Zimmer, soweit seine Länge es gestattet, eine Kerze gegenüber einem auf der andern Seite des Zimmers befindlichen Hohlspiegel auf und suche durch ein kleines Blatt weißes Papier den leuchtenden Punkt, in welchem sich die als parallel anzusehenden Lichtstrahlen nach erfolgter Reflexion vereinigen. Man gehe mit der Kerze ein bedeutendes Stück näher und beobachte die Änderung der Lage des leuchtenden Punktes.

Man nähere die Kerze dem Spiegel immer mehr. In welcher Richtung bewegt sich das Bild? Wie ändert sich die Größe des Bildes? — Man verschiebe die Kerze, bis sie mit dem Bilde zusammenfällt. Welche Bedeutung hat dieser Punkt für den Spiegel? Um dies Bild auffangen zu können, stelle man den Spiegel ein wenig schräg. — Man bringe die Kerze dem Spiegel noch näher. In welcher Richtung bewegt sich das Bild? Man vergleiche die Länge, um welche die Kerze vorgeht, mit der entsprechenden des Bildes. — Man verschiebe die Kerze, bis man dem Punkte nahe kommt, den man im ersten Versuch gefunden hat, und beobachte für eine ganz geringe Verschiebung der Kerze die Bewegung des Bildes. — Man nähere die Kerze dem Spiegel noch ein wenig, bis man beobachtet, daß man nicht mehr ein auffangbares, sondern ein virtuelles Bild erhält. Man schiebe die Kerze näher an den Spiegel heran und beachte die Richtung der Bewegung des Bildes. Welche beiden Punkte der Achse haben sich vor anderen ausgezeichnet?

Man fange für verschiedene Stellungen der Kerze das Bild auf und stelle dann die Kerze an den Ort des Bildes. Welche Stelle nimmt das neue Bild ein? Die so ausgezeichneten Punkte der Achse heißen zueinander konjugierte Punkte. In bezug auf welche beiden anderen Punkte der Spiegelachse sind zwei solcher Punkte konjugiert harmonisch?

Man messe zunächst für reelle Bilder Gegenstand- und Bildweite. Um zwischen diesen Größen eine einfache Beziehung auffinden

zu können, beachte man, daß für jede Größe einmal der Wert ∞ auftritt. Dieser Wert ∞ läßt sich am leichtesten in die Rechnung einführen, wenn man seinen reziproken Wert $\frac{1}{\infty} = 0$ behandelt. Demgemäß bilde man für sämtliche Messungen die reziproken Werte von Gegenstand- und Bildweite. Welche einfache Rechenoperation gibt für beide Größen einen Ausdruck, der für alle Stellungen der Kerze derselbe ist?

Man nehme das Mittel der gefundenen Resultate und vergleiche die durch den reziproken Wert gegebene Länge mit der Entfernung der beiden ersten ausgezeichneten Punkte vom Spiegel. Diese durch Rechnung gefundene Strecke gibt die vorher durch den ersten Versuch nicht genau zu bestimmende Entfernung des Brennpunktes, die Brennweite.

Um die Messungen auch für das virtuelle Bild vornehmen zu können, verschiebe man einen hinter dem Spiegel vertikal gehaltenen Stab, bis für jede Stellung des Auges Bild und Stab sich decken (13, 2), und messe dann die Entfernung des Stabes vom Spiegel, die Bildweite, die man als negative Größe in die Rechnung einführt.

Wenn a und b Gegenstand- und Bildweite, f Brennweite bedeuten, wie lautet dann die Formel für den Hohlspiegel? Welche Form nimmt sie für virtuelle Bilder an?

3. Vergrößerung. Man entwerfe das vergrößerte oder verkleinerte Bild einer Kerze und vergleiche das Verhältnis von Gegenstand- und Bildgröße mit dem von Gegenstand- und Bildweite.

19. Konvexspiegel. 1. Gang der Lichtstrahlen. Man stelle einen streifenförmigen, zylindrischen Konvexspiegel auf ein Zeichenbrett und bestimme in derselben Art wie für einen ebenen Spiegel (13, 2) und einen Hohlspiegel (17) den Verlauf der reflektierten Lichtstrahlen, den Bildpunkt und die Gleichheit von Einfalls- und Reflexionswinkel. Gibt ein Konvexspiegel reelle und virtuelle Bildpunkte?

2. Bilder. Man nähere eine Kerze aus weiter Entfernung allmählich dem Spiegel und verfolge die Bewegung des Bildes, indem man seinen Ort in derselben Weise bestimmt wie in Nr. 18 für virtuelle Bilder ausgeführt worden ist. Sind die Bilder vergrößert oder verkleinert? Man messe für verschiedene Entfernungen der Kerze Gegenstand- und Bildweite und leite ebenso wie für den Hohlspiegel die allgemeine Formel ab, indem man das gefundene Resultat berücksichtigt, daß Größen, die hinter der spiegelnden Fläche liegen, als negative Größen einzuführen sind.

20. Bestimmung der Brennweite von Spiegeln. Konkavspiegel. Man messe Gegenstand- und Bildgröße mittels eines auf Papier gezeichneten Maßstabes und die gegenseitige Entfernung von Gegenstand und Bild, berechne aus diesen Messungen Gegenstand- und Bildweite und daraus mit Hilfe der Formel (18) die Brennweite.

Konvexspiegel. Man werfe durch einen Konkavspiegel das vergrößerte Bild einer Kerze auf einen Schirm, stelle in den Weg der reflektierten Strahlen den Konvexspiegel und verschiebe ihn, bis nach wiederholter Reflexion am Konkavspiegel das Bild der Kerze dicht neben ihr erscheint. Wie müssen die Strahlen zwischen beiden Spiegeln verlaufen? Nach welchem hinter dem Konvexspiegel liegenden Punkt müssen demnach die auf ihn fallenden Strahlen gerichtet sein? Durch welche Messungen erhält man die Brennweite des Konvexspiegels?

Man beachte bei diesem Versuche, daß der Konvexspiegel gleichsam von einem virtuellen Gegenstande ein reelles Bild entwirft.

21. Brennflächen. Man wiederhole den in Nr. 16 besprochenen Versuch für einen zylindrischen Hohlspiegel von größerer Öffnung, dessen Achse schräg zu den parallel auffallenden Lichtstrahlen steht (Fig. 23), beobachte die verschiedenen Schnittpunkte der reflektierten

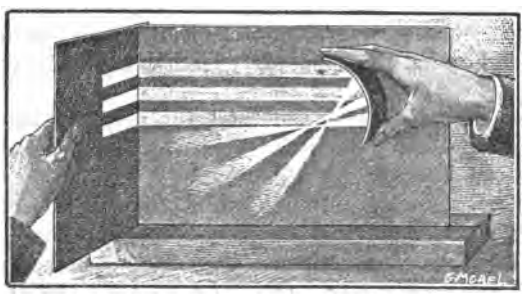


Fig. 23.

Strahlen und verfolge die durch aufeinanderfolgende Schnittpunkte entstehende krumme Linie. Man entferne das mit den Spalten versehene Kartonpapier, betrachte die auf dem Schirm als Brennlinie erscheinende Brennfläche und suche sich ein Bild davon zu machen, daß diese durch die stetige Aufeinanderfolge der unendlich vielen Schnittpunkte der reflektierten Strahlen gebildet wird. — Man blende die Randstrahlen ab, indem man auf die der Zylinderachse parallelen Ränder des Spiegels Stücke Papier klebt, so daß ein Spiegel von kleiner Öffnung entsteht. Was wird aus der Brennfläche? (16).

Man biege ein größeres Stück blankes Eisenblech, so daß es als Hohlspiegel dienen kann (Fig. 24), lasse in diesem auf einem auf den Boden gelegten Papier sich die Brennlinie abzeichnen und verfolge mit Hilfe des Schattens eines senkrecht gehaltenen Stabes den Lauf der reflektierten Strahlen und ihre Lage zur Brennlinie.

Man fange mit einem halbkugelförmigen Hohlspiegel das Licht der Sonne auf und mache die reflektierten Strahlen durch Zigarrenrauch sichtbar. Dann blende man durch ein auf den Spiegel geklebtes ringförmiges Stück Papier die Randstrahlen ab und beobachte wieder. —

Man kann die Erscheinung der Brennfläche auch im Innern von Serviettenringen, Kristallisierschalen und andern hohlen, spiegeln-

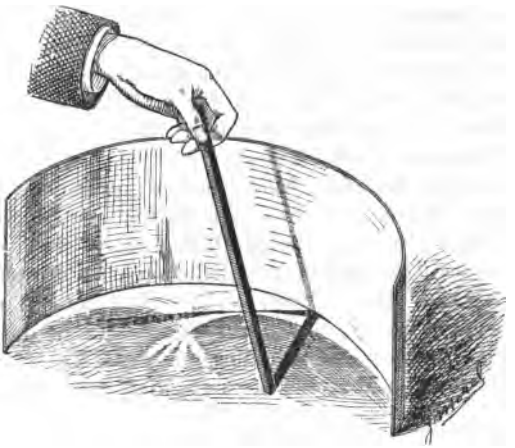


Fig. 24.

den Flächen in Form von zwei hellen Bogen wahrnehmen, die sich beiderseits vom Brennpunkt aus nach der Spiegelfläche hin erstrecken.

---

22. Brechung. 1. Umkehrbarkeit des Weges. Man lege auf den Boden einer mit Wasser gefüllten Kristallisierschale ein

Fig. 25.

durch einige Steinchen beschwertes Blatt Papier. Über den Rand des Gefäßes lege man einen Kantel und werfe mit Hilfe einer Azetylenlampe den Schatten dieses Kantels auf das Papier (Fig. 25). Dann stelle man einen zweiten Kantel so in das Wasser, daß er sich gegen den andern stützt und mit seinem Ende den Schatten

berührt. Welches ist die Richtung des einfallenden und welches die des beim Eintritt in das Wasser gebrochenen Lichtstrahles?

Man halte das Auge neben die Flamme, blende sie durch einen Schirm gegen das Auge ab und gebe diesem eine solche Stellung, daß es über den Rand des Kantels hinweg gerade noch das neben dem Schatten von der Papierfläche diffus reflektierte Licht empfängt. Welcher Strahl ist jetzt der einfallende und welcher der gebrochene Strahl, wenn man beachtet, daß die brechende Fläche jedesmal die Oberfläche des Wassers ist?

2. Brechungsgesetz. Man zeichne auf einem quadratischen Brettchen einen Kreis und befestige Stifte im Zentrum, an den Enden eines einer Kante parallelen Durchmessers und in einigen dem einen Ende dieses Durchmessers naheliegenden Punkten der Kreislinie. Man tauche dieses Brett so in eine mit Wasser gefüllte Kristallisierschale (Fig. 26), daß der Durchmesser in die Wasseroberfläche zu liegen kommt und die übrigen Stifte sich im Wasser befinden. Man visiere so über das Zentrum, daß einer der unteren Stifte

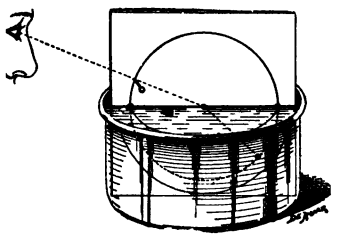


Fig. 26.

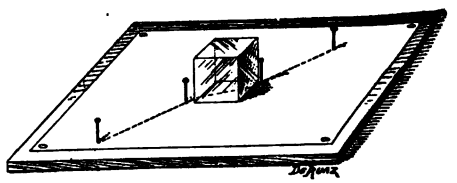


Fig. 27.

in dieser Richtung gesehen wird, und befestige außerhalb des Wassers auf der Kreislinie dort einen Stift, wo sie von der Visierlinie getroffen wird. Man hebe dann das Brettchen heraus, zeichne den zum bezeichneten Durchmesser senkrechten Radius (Einfallslot), ferner die beiden nach den Stiften gehenden Radien und berechne das Verhältnis des Sinus des Einfallswinkels zum Sinus des Brechungswinkels, d. h. des Winkels zwischen dem gebrochenen Strahl und dem in das Wasser hinein verlängerten Einfallslote.

Man wiederhole den Versuch für die übrigen Stifte und vergleiche die jedesmal berechneten Verhältnisse.

Man bezeichnet dieses Verhältnis als den Brechungsquotienten, Brechungsverhältnis, beim Übergang des Lichtes aus Wasser in Luft. Wie groß ist der Brechungsquotient beim Übergang von Luft in Wasser?

3. Planparallele Platten. Man lege einen Glaswürfel auf ein Blatt Papier (Fig. 27), ziehe auf diesem zwei parallele Kanten des Würfels mit Bleistift nach und befestige auf der einen Seite zwei Stifte, den einen nahe dem Würfel, den andern etwas weiter entfernt, so daß, wenn das Auge von der andern Seite durch den Würfel hindurchvisiert, es die beiden Nägel in einer geraden Linie erblickt, und

fixiere die Visierrichtung durch zwei neue Stifte. Dann entferne man den Würfel, ziehe auf beiden Seiten die Verbindungslinien der beiden Nägel und verlängere die Linien bis zum Schnitt mit den die Kanten des Würfels markierenden Linien. Welche Linie gibt den Weg des Lichtstrahles im Glase? Wie laufen die beiden Strahlen außerhalb des Würfels? Man berechne den Brechungsquotienten Glas—Luft.

4. Brechungsquotient zwischen zwei beliebigen Substanzen. Man ersetze den Würfel durch eine Platte von etwa halber Dicke und führe dieselbe Zeichnung aus. Dann setze man, die Stellung der Platte zu den beiden ersten Stiften unverändert lassend, neben sie eine zweite Platte aus anderem Glase, visiere und zeichne den aus der zweiten Platte austretenden Strahl. Man vervollständige die Zeichnung (Fig. 28), so daß sie den Weg des Lichtes beim Eintritt in die erste Platte, den Weg in jeder Platte und den nach Austritt in Luft enthält, und vergleiche den Brechungsquotienten des Lichtes beim Übergang aus einer Glassorte in die andere mit dem Verhältnis der Brechungsquotienten beim Übergang aus jeder Glassorte in Luft.

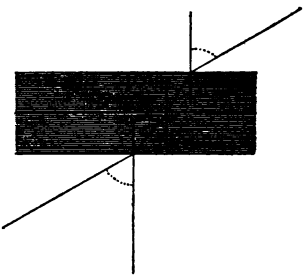


Fig. 28.

In Ermangelung zweier Platten aus verschiedenem Glase bediene man sich eines Glastroges mit planparallelen dicken Wänden. Man stelle den Trog auf das Papier, ziehe die parallelen Außenkanten und nach Messung der Dicke der Wände auch die Innenkanten mit Bleistift nach. Dann verfahre man wie im ersten Versuch und lege die Richtung der außerhalb des Troges laufenden Strahlen bis zum Schnitt mit den beiden äußersten Kanten fest. Den weiteren Verlauf in den Platten selbst zeichne man mit Hilfe des Brechungsquotienten für den Übergang von Licht aus Glas in Luft und umgekehrt. Wie muß die Verbindungslinie der Schnittpunkte der so gefundenen Strahlen mit den inneren Kanten im Vergleich zu den außerhalb des Troges laufenden Strahlen gerichtet sein?

Man fülle das Gefäß mit Wasser und führe dieselbe Zeichnung aus. Aus dem Strahlengang im Wasser und dem im Glas leite man das Brechungsverhältnis beim Übergang des Lichtes aus Glas in Wasser ab und vergleiche den gefundenen Wert wieder mit dem Verhältnis der Brechungsquotienten beim Übergang des Lichtes aus Glas bezw. aus Wasser in Luft.

23. Totalreflektion. 1. Man bringe unter das mit etwas Kreide getrübte Wasser einen kleinen drehbaren Spiegel, welcher das durch einen andern Spiegel senkrecht auf die Wasserfläche gelenkte Lichtbündel auffängt und nach aufwärts an die Wasseroberfläche zurückwirft (Fig. 29). Man lasse im verdunkelten Zimmer dieses letztere Lichtbündel durch Bewegung des unteren Spiegels immer schräger

und schräger an die Wasseroberfläche fallen und verfolge seinen Weg im Wasser und, nach Durchgang durch die Oberfläche, in der Luft. Für welchen Einfallswinkel der Strahlen gehen diese nicht mehr durch die Fläche hindurch in die Luft, sondern werden wieder in das Wasser reflektiert? Welche Form nimmt für diesen Winkel das Brechungsgesetz an?

2. Man lasse ein Brettchen, durch dessen Mitte ein Nagel gesteckt ist, mit nach unten gerichtetem Nagel in einer bis zum Rande mit Wasser gefüllten Kristallisierschale schwimmen (Fig. 30) und beobachte an der Kante des Brettchens vorbei den Kopf des Nagels; dann drücke man den Nagel immer weiter und weiter ein, bis man, von derselben Seite wie vorher beobachtend, den Kopf nicht mehr sieht, selbst wenn man das Auge in die Ebene des Wasserspiegels hält. Man messe die hervorstehende Länge des Nagels und seine Entfernung vom Rande und berechne aus beiden den Grenzwinkel, für den die Totalreflektion beginnt.

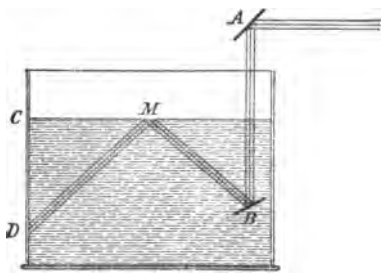


Fig. 29.

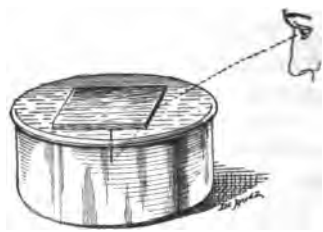


Fig. 30.

3. Man setze einen grösseren Glastrog auf so hohe Unterlagen, daß die mittels einer rechtwinklig gebogenen Glasröhre horizontal gerichtete Flamme einer Azetylenlampe in der Höhe der unteren Kante des Troges steht (Fig. 31). Die der Flamme zugewendete Trogfläche bedecke man durch ein schwarzes Blatt Papier, das nahe über der unteren Kante und ihr parallel einen Spalt besitzt, vor den man die Flamme bringt.

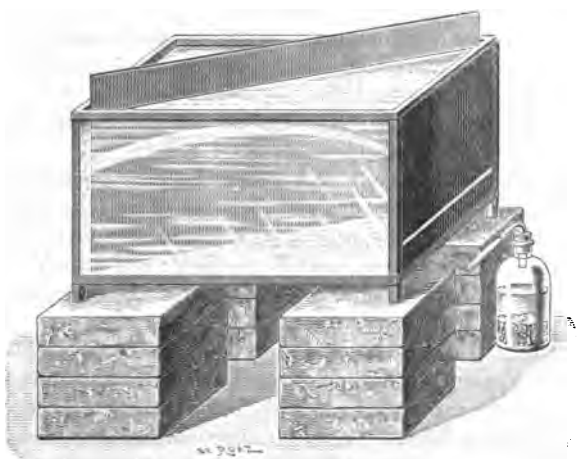


Fig. 31.

Man fülle den Trog zur Hälfte mit filtriertem destillierten Wasser und bringe durch eine Trichterröhre eine filtrierte gesättigte Kochsalzlösung an den Boden. Man lasse kurz nach der Füllung die Lichtstrahlen von unten her durch den Spalt eintreten und beobachte unter Zuhilfenahme einer weißen Metallplatte, die man in Diagonalrichtung in das Wasser stellt, die an der Grenze beider Flüssigkeiten eintretende Totalreflektion und die gerade Richtung der Lichtbündel. Man wiederhole den Versuch, nachdem nach längerer Zeit infolge allmählicher Vermischung sich verschieden dichte Flüssigkeiten über einander gelagert haben, und beobachte den krummlinigen Verlauf der Lichtstrahlen. (Fata Morgana).

4. Ein gläsernes T-Stück verbinde man mit der Wasserleitung. Das eine Ende ziehe man ein wenig aus, das andere verschließe man durch eine Glasplatte. Man lege diese Röhre wagerecht so vor den Kopf einer Projektionslaterne, daß die Lichtbündel durch die Glas-

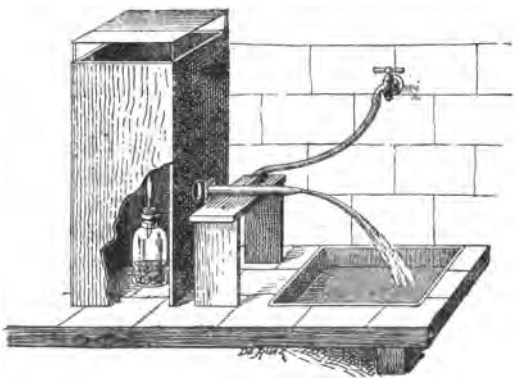


Fig 32.

platte in das Wasser treten. Verfügt man nicht über eine Projektionslaterne, so stelle man eine starke Azetylenlampe in einen hohen viereckigen Kasten (Fig. 32), dessen Deckel man auf vier in den Ecken befestigten Nägeln ruhen läßt. In die Vorderwand bohre man ein rundes Loch. Läßt man im verdunkelten Zimmer das Wasser mit mäßiger Geschwindigkeit laufen, so erscheint es infolge wiederholter Totalreflektion leuchtend. Man kann durch ein vor die Lampe gehaltenes Glas die Farbe des Strahles nach Belieben ändern.

Man mache einen krummen Glasstab an einem Ende glühend und beobachte das andere Ende.

5. Man halte eine brennende Kerze so neben ein Glas mit Wasser, etwas unterhalb der Wasserfläche, daß man von der entgegengesetzten Seite von unten her ein umgekehrtes Bild erblickt.

6. Man tauche ein mit wenig Wasser und Quecksilber gefülltes Reagenzglas so tief in Wasser, daß das Wasser innen tiefer steht als außen, und beobachte es schräg von der Seite.

24. Zeichenapparate. 1. Camera lucida. Sie besteht aus einem vierseitigen Glasstück *a b c d* (Fig. 33), das bei *b* einen rechten, bei *d* einen stumpfen Winkel von 135° hat. Ein von dem Gegenstand kommender Lichtstrahl *x*, welcher auf die Vorderfläche *b c* des Glasstückes trifft und in dasselbe eindringt, wird zuerst an der Fläche *c d*, dann an *d a* vollständig zurückgeworfen und gelangt, nachdem er aus der Fläche *a b*, nahe der Kante *a*, ausgetreten ist, in der Richtung der punktierten Linie kommend, in das Auge. Indem dieses, an der Kante *a* vorbei, auf das zur Aufnahme der Zeichnung bestimmte Papierblatt so nach abwärts blickt, daß die Hälfte der Pupille *p p* von dem Glasstück verdeckt wird, nimmt es das Bild des Gegenstandes wahr, als wäre es auf dem Papierblatt entworfen.

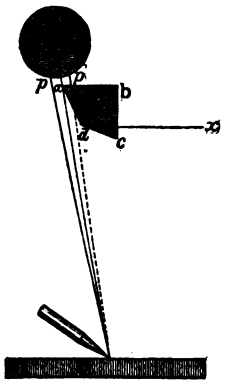


Fig. 33.

Man zeichne die Umrisse des Bildes mit der gleichzeitig gesehenen Bleistiftspitze nach.

2. Reflexionsprisma. Das Reflexionsprisma besteht aus einem Glasstück, dessen Flächen so geschliffen sind, daß der Querschnitt ein rechtwinklig-gleichschenkliges Dreieck bildet (Fig. 34).

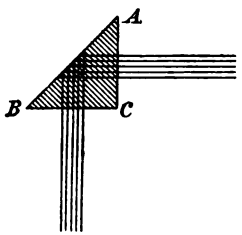


Fig. 34.

Man benutze das Prisma, um die Länge eines vertikal gerichteten Stäbchens zu bestimmen, indem man das Prisma so über ein Blatt Papier hält, daß die dem Auge zugewandte Kante *B C* der Papierebene, die Kante *A C* dem Stäbchen parallel läuft. Man lege auf das Papier einen Maßstab, blicke mit einem Auge auf die Fläche *B C*, so daß es die vom Stäbchen kommenden Lichtstrahlen empfängt und an der Fläche vorbei direkt auf den Maßstab blickt.

25. Gang der Lichtstrahlen in Linsen. Man bedecke eine Sammellinse mit einem von mehreren Löchern durchbohrten, schwarzen Papier und beleuchte sie von der andern Seite durch eine punktförmige Lichtquelle (10, 2), (Fig. 35). Man halte einen Schirm an verschiedenen Stellen in den Weg der gebrochenen

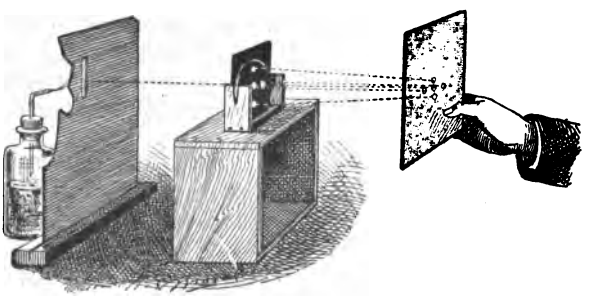


Fig. 35.

Strahlen und stelle aus der Lage der auf ihm entstehenden Lichtflecke für die verschiedensten Entfernungen von Lichtquelle und Linse Konvergenz, Divergenz oder Parallelität der gebrochenen Lichtstrahlen fest.

Man kann den Gang der Lichtstrahlen auch durch Zigarrenrauch sichtbar machen.

Man wiederhole die Versuche mit einer Zerstreuungslinse. Durch welche Linsen können Strahlen konvergenter gemacht, d. h. gesammelt, durch welche nur divergenter gemacht, d. h. zerstreut werden?

Man stelle in den Weg konvergent aus der Sammellinse austretender Strahlen eine Zerstreuungslinse. Können die Strahlen konvergent bleiben?

26. Sammellinsen. 1. Brennpunkt. Man lasse auf die Linse ein Bündel paralleler Sonnenstrahlen fallen und suche mittels eines in den Weg der gebrochenen Strahlen gehaltenen Schirmes ihren als blendend hellen Punkt erscheinenden Vereinigungspunkt, den Brennpunkt. Dann drehe man die Linse um und bestimme auch auf der anderen Seite den Brennpunkt. — Man stelle in den Brennpunkt der Linse einen mit einer feinen Öffnung versehenen Schirm und hinter die Öffnung eine Kerze, stelle in den Weg der austretenden Strahlen einen Planspiegel nahezu senkrecht zur Linsenachse auf und beobachte das neben der Öffnung des Schirmes entstehende Bild derselben. Dann drehe man den Spiegel so, daß das Bild in die Öffnung fällt. Welche Richtung müssen die Strahlen zwischen Linse und Spiegel zueinander haben?

Welches Gesetz kann man über den Lauf der aus dem Unendlichen bezw. aus dem Brennpunkt auf eine Sammellinse fallenden Lichtstrahlen aufstellen?

2. Bilder. Man verfahre wie bei den Versuchen mit einem Hohlspiegel (18), indem man mit einer Kerze aus großer Entfernung der Linse allmählich näher kommt und die Bewegung von Gegenstand und Bild, sowie die Änderung der Bildgröße verfolgt. Wieviel ausgezeichnete Punkte gibt es bei der Linse? Man stelle die Bedeutung einander konjugierter Punkte fest.

Man zeige auch, daß nicht nur Gegenstand und Bild miteinander vertauscht werden können, sondern daß es auch zwei Stellungen der Linse gibt, für welche Gegenstand und Bild ihren Ort nicht wechseln. Wie ändert sich die Größe? In welcher Beziehung steht die Entfernung der beiden Linsenstellungen zu Gegenstand- und Bildweite?

Man stelle ebenso wie beim Hohlspiegel die allgemeine Formel auf, welche Gegenstand- und Bildweite miteinander verbindet.

Um die Bildweite virtueller Bilder messen zu können, setze man in den Weg der divergent austretenden Lichtstrahlen eine zweite Linse und fange das dadurch entstehende Bild auf. Dann entferne man die erste und verschiebe die Lichtquelle, bis man das durch die zweite Linse entworfene Bild an derselben Stelle und mit derselben

Schärfe wie vorher erhält. Welche Entfernung gibt die gesuchte Bildweite?

Man beachte für den letzten Versuch, daß die zweite Linse gleichsam von einem „virtuellen Gegenstand" ein reelles Bild entworfen hat (19, 2).

3. Vergrößerung. Man entwerfe das Bild einer Kerze oder eines beleuchteten Glasmaßstabes auf einen Schirm und vergleiche das Größenverhältnis von Gegenstand und Bild mit dem Verhältnis der Gegenstand- und Bildweite.

27. Zerstreuungslinsen. Man bestimme Gegenstand- und Bildweite nach der in No. 19, 2 benützten Methode. Man leite die allgemeine Formel ab, indem man die Vorzeichen berücksichtigt.

Kann eine Zerstreuungslinse reelle Bilder geben? Sind die Bilder vergrößert oder verkleinert?

28. Bestimmung von Brennweiten. Sammellinsen. 1. Man stelle die Lichtquelle so auf (Fig. 36), daß nach Zurückwerfung der Strahlen an einem auf der anderen Seite der Linse stehenden Spiegel und nochmaligem Durchgang durch die Linse ein Bild der Lichtquelle auf

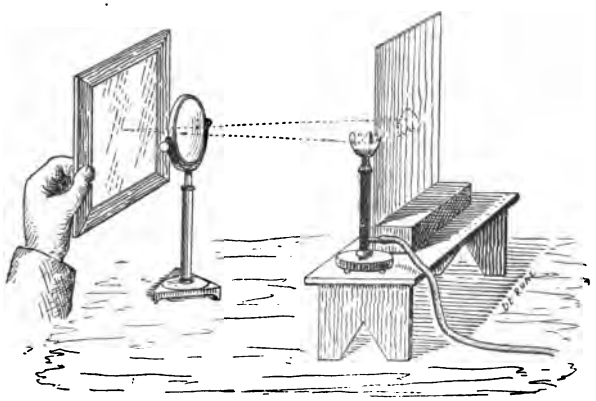


Fig. 36.

einem neben ihr gehaltenen Schirm entsteht. Welche Entfernung gibt die Brennweite? — 2. Man entwerfe das Bild einer Kerze und berechne aus der Summe und dem durch die Vergrößerung gegebenen Verhältnis von Gegenstand- und Bildweite mit Hilfe der Linsenformel die Brennweite der Linse. — 3. Man entwerfe das Bild einer Kerze und messe die Entfernung beider. Dann suche man die zweite Stellung der Linse (26, 2) für welche Gegenstand und Bild ihren Ort nicht ändern, und messe die Entfernung zwischen beiden Stellungen der Linse. Aus beiden Messungen berechne man Gegenstand- und Bildweite und dann mit Hilfe der Formel die Brennweite.

System von Linsen. Man entwerfe durch das System zweier Sammellinsen von bekannter Brennweite ein Bild einer Flamme und

vergleiche die Summe der reziproken Werte der Brennweiten der einzelnen Linsen mit der für das System erhaltenen Summe der reziproken Werte von Gegenstand- und Bildweite. Führt man diesen Wert als reziproken Wert einer Brennweite ein, welche Beziehung besteht dann zwischen der Brennweite eines Systems und den Brennweiten der einzelnen Linsen?

Wie lautet unter Berücksichtigung der Vorzeichen die gefundene Beziehung für ein System beliebiger Linsen?

Zerstreuungslinsen. 1. Man bestimme die Zerstreuungsweite einer Zerstreuungslinse, indem man eine Sammellinse ausprobiert, deren Brennweite gleich der Zerstreuungsweite der ersten Linse ist. Man lege beide Linsen aneinander, sehe zunächst nach einem nahen Gegenstand und entscheide aus der Bildgröße, ob das System konvergent oder divergent ist. Die Gläser haben dieselbe Brennweite, wenn der Gegenstand seine Größe zu behalten scheint. In letzterem Falle erhält man eine genauere Regulierung, wenn man das System auf einen fernen Gegenstand richtet; es ist noch konvergent oder divergent, je nachdem die Gegenstände bei einer zur Seite gerichteten Bewegung der Gläser sich in entgegengesetzter oder derselben Richtung bewegen; bei gleicher Brennweite bewegen sich die Gegenstände nicht mit. — 2. Man stelle die Zerstreuungslinse mit einer starken Sammellinse von bekannter Brennweite zusammen, messe die Brennweite des Systems und berechne die Brennweite der Zerstreuungslinse.

29. Fehler der Linsen. Sphärische Abweichung. 1. Man blende eine große Sammellinse durch ein Stück Papier ab, das in zwei zueinander senkrechten Richtungen von neun Löchern durchbohrt ist (Fig. 37), und stelle eine Azetylenlampe in doppelter

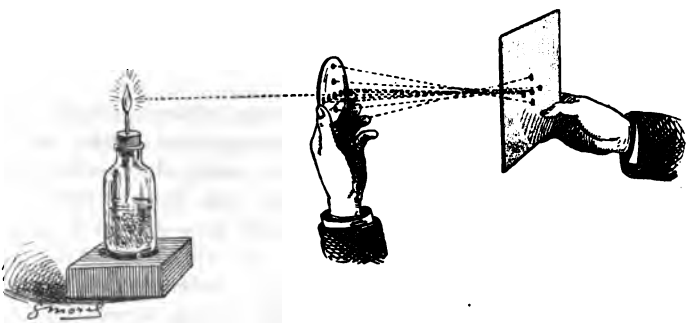


Fig. 37.

Brennweite auf, halte in den Weg der austretenden Strahlen einen Papierschirm und bestimme aus der Lage der Lichtflecke, wo sich die Randstrahlen und wo sich die Zentralstrahlen der Linse vereinigen. Wo liegt der Brennpunkt? — Man kann die Linse auch durch ein Blatt Papier abblenden, auf dem zwei konzentrische Kreise gezeichnet sind, von denen der grössere nur wenig kleiner

als die Öffnung der Linse ist und 16 Löcher, der andere, viel kleinere vier Löcher enthält.

2. Man blende einmal durch ein ringförmiges Stück Papier die Randstrahlen, dann durch ein kreisförmiges die Zentralstrahlen ab, bestimme jedesmal die Brennweite (28) und vergleiche die Werte miteinander.

3. Man lasse Sonnenstrahlen auf eine große Sammellinse fallen und mache die durch die Aufeinanderfolge der unendlich vielen Schnittpunkte der gebrochenen Strahlen entstehende Brennfläche durch Zigarrenrauch sichtbar (21).

Linsensysteme, in denen die sphärische Abweichung möglichst vermieden ist, nennt man Aplanate.

Astigmatismus. Man lasse ein Bündel Sonnenstrahlen auf eine Linse fallen, deren Achse mit der Strahlenrichtung einen merklichen Winkel bildet, und suche mit Hilfe eines Schirmes den Brennpunkt. Wieviel Linien findet man, wenn man den Schirm in der Nähe des erwarteten Brennpunktes verschiebt, und wie liegen diese Linien zueinander?

Bildwölbung. Man stelle eine Sammellinse von großer Brennweite vertikal auf ein Zeichenbrett, indem man sie zwischen zwei an einem Brettchen befestigten Zinkstreifen klemmt (Fig. 38).

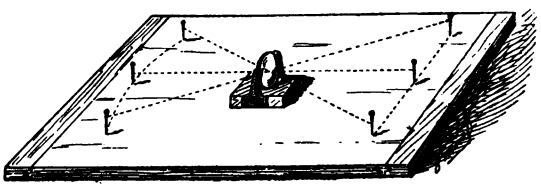


Fig. 38.

Vor die Linse, um mehr als die Brennweite entfernt, bringe man in einer zur Linsenachse senkrechten Richtung drei Stifte an, von denen der eine auf der Achse der Linse steht, die beiden andern zu beiden Seiten des ersteren, gleichweit von ihm entfernt. Man visiere von der andern Seite der Linse, bis man das Bild eines der Nägel erblickt, bewege einen Stift, bis er für jede Stellung des Auges mit dem Bilde zusammenfällt, und befestige ihn dann auf dem Brett. Ebenso verfahre man für die beiden andern Stifte.

Wie liegen die drei Bilder zur Linse? Wie müssten die drei ersten Stifte gestellt werden, wenn ihre Bilder in einer zur Achse senkrechten Ebene liegen sollen?

Zur Ausgleichung der Abbildungsfehler sind die Okulare von Instrumenten aus mehreren Linsen, in der Regel aus zweien, zusammengesetzt.

30. Zylinderlinsen. 1. Man lasse ein durch einen sehr schmalen vertikalen Spalt kommendes Bündel paralleler Lichtstrahlen mitten

durch ein mit Wasser gefülltes Standglas gehen und suche mittels eines in den Weg der austretenden Strahlen gehaltenen Schirmes die Brennlinie. Wie liegt sie zur Seitenlinie der Zylinderlinse? — 2. Man verbreitere den Spalt, so daß das Standglas in seiner ganzen Breite von Licht getroffen wird, und mache die Brennfläche durch Zigarrenrauch oder Salmiaknebel sichtbar, oder indem man ein Blatt weißes Papier gegen die Lichtstrahlen schwach geneigt hinter das Standglas hält. — 3. Man beleuchte einen aus Stanniol ausgeschnittenen Stern von der Rückseite durch ein paralleles Strahlenbündel (Fig. 39) und werfe durch eine Sammellinse ein scharfes

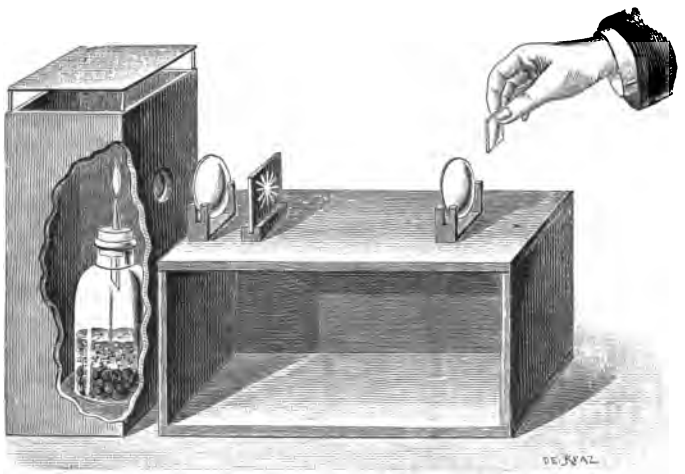


Fig. 39.

Bild des Sternes auf einen Schirm. Dann setze man zwischen Linse und Schirm eine konvergente planzylindrische Linse. Welcher Strahl des Sternes behält seine Deutlichkeit? Man verschiebe den Schirm, bis ein andrer Strahl deutlich erscheint. Wie liegen diese beiden Richtungen zueinander und zur Seitenlinie der Zylinderlinse? (Künstlicher Astigmatismus.)

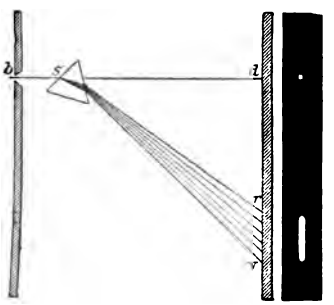


Fig. 40.

31. Brechung durch ein Prisma. 1. Man lasse durch eine kleine Öffnung (*b*; Fig. 40) des Fensterladens ein Bündel Sonnenstrahlen in ein verdunkeltes Zimmer eintreten, bedecke die Öffnung mit einem roten Glas, stelle in den Weg des Strahlenbündels einen weißen Papierschirm und markiere auf diesem die Stelle des hellen roten Fleckes *d*. Dann stelle man ein Prisma in den Weg des Licht-

bündels und markiere die neue Stelle *r* des Lichtfleckes. Man verdecke die Öffnung der Reihe nach durch verschiedenfarbige Gläser und markiere jedesmal die Stelle des Lichtfleckes. Für welche Farbe ist die Ablenkung am kleinsten, für welche am größten? Man lasse weißes Licht einfallen und vergleiche die Lage der Farben des Spektrums mit den vorher markierten Stellen.

Man halte in den Weg der aus dem Prisma austretenden Lichtstrahlen ein zweites Prisma so, daß die brechenden Kanten beider Prismen rechtwinklig zueinander stehen. Welche Form und Lage muß das neue Spektrum haben? Wie ändert sich die Form, wenn die beiden Prismen nicht aus derselben Glassorte hergestellt sind, wenn z. B. das eine ein Flintglasprisma, das andere ein mit Schwefelkohlenstoff gefülltes Hohlprisma ist?

Hat man eine Projektionslaterne zur Verfügung, so blende man deren Licht durch eine mit einem schmalen Spalt versehene Metallscheibe ab und entwerfe ein Bild des Spaltes auf einen Schirm.

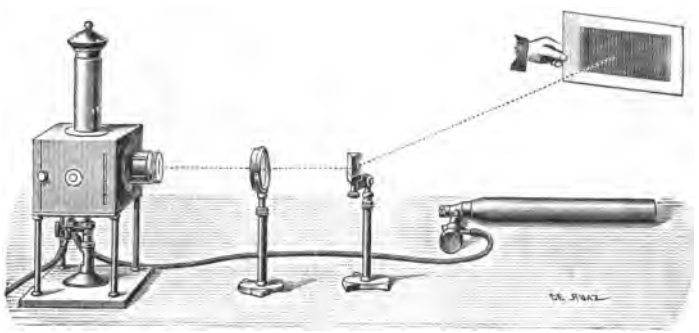


Fig. 41.

Dann stelle man vor den Schirm das Prisma (Fig. 41), bringe eine kleine Öffnung im Schirm der Reihe nach in den Weg der verschiedenfarbigen Lichtstrahlen des Spektrums und lenke diese hinter den Schirm von neuem durch ein Prisma ab (Fig. 42). Findet eine weitere Zerlegung statt (homogene Farben)?

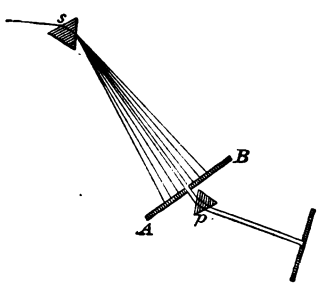


Fig. 42.

2. Man stelle ein Prisma mit der brechenden Kante senkrecht auf ein Blatt weißes Papier, ziehe die auf dem Papier liegenden, den brechenden Winkel einschließenden Kanten mit Bleistift nach, befestige wie bei den Versuchen mit den planparallelen Platten (22, 3) auf der einen Seite zwei Stifte und markiere auf der andern Seite durch zwei neue Stifte die Richtung, in welcher man die beiden ersten erblickt. Man entferne das Prisma und verlängere beide

Richtungen bis zum Schnitt mit der nächstliegenden Prismenkante. Welche Linie zeigt den Gang des Strahles im Prisma an? Welcher Winkel gibt die Gesamtablenkung des einfallenden Strahles?

Man wiederhole diesen Versuch, indem man durch Hin- und Herdrehen des Prismas die Stellung sucht, für welche die Gesamtablenkung kleiner ist als bei jeder andern Stellung. Man nehme für dieses Minimum der Ablenkung dieselbe Zeichnung (Fig. 43) vor wie vorher, zeichne die Einfallslote und vergleiche die Winkel im Prisma und ebenso außerhalb desselben miteinander. Wie liegen sämtliche Linien zur Halbierungslinie des brechenden Winkels des Prismas? Man messe das Minimum der Ablenkung und den brechenden Winkel (15) und berechne das Brechungsverhältnis für die Brechung aus Luft in Glas, indem man statt der Einfalls- und Brechungswinkel die oben gemessenen Winkel in die Rechnung einführt.

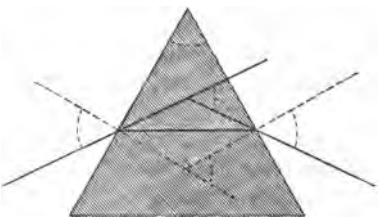


Fig. 43.

Sämtliche Versuche lassen sich auch ausführen, indem man den Schatten eines von einer Kerze beleuchteten, senkrecht stehenden Stabes benutzt.

32. Bestimmung von Brechungsverhältnissen. 1. Minimum der Ablenkung. Man befestige das Objektiv eines Fernrohres vertikal am Ende eines schmalen Brettchens (Kollimatorbrettchen) zwischen zwei seitlich angebrachten, oben etwas gebogenen Zinkstreifen, bestimme den Brennpunkt (28) und markiere diesen Punkt durch einen kleinen Nagel (Fig. 44). Ein zweites Brettchen richte man

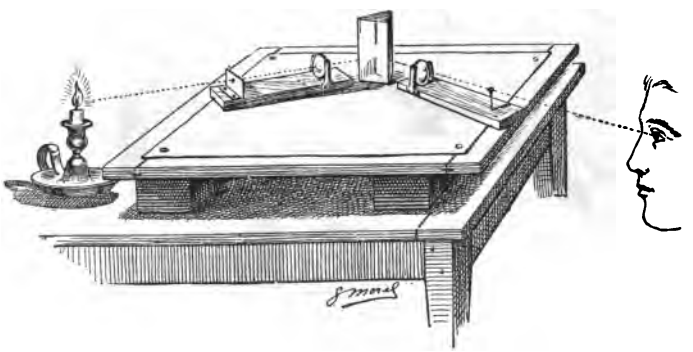


Fig. 44.

ebenso her, nur bringe man an Stelle des Nagels einen kleinen, mit einem Loch oder einem feinen Spalt von höchstens 1 mm Breite versehenen Schirm an. Man stelle beide Apparate auf ein Zeichenbrett in derselben Richtung einander genau gegenüber, indem man

den Spalt beleuchtet und sein Bild mit dem Nagel zur Deckung bringt. Man markiere auf dem Zeichenbrett diese „Null"stellung des zweiten Brettchens. Dann stelle man ein Prisma in die Mitte des Zeichenbrettes und verschiebe das Prisma und das mit dem Nagel versehene Brettchen, bis man das Minimum der Ablenkung gefunden hat, wobei man den Spalt mittels eines vor das Licht gehaltenen Glases mit einfarbigem Licht (31, 1) beleuchtet. Man markiere wieder die Lage des Brettchens und messe den mit der Nullstellung gebildeten Winkel, das Minimum der Ablenkung. Dann bestimme man den brechenden Winkel, indem man die Kanten des Prismas mit Bleistift nachzeichnet. — Für feinere Messungen benutzt man das Reflexionsgoniometer (36).

Aus dem Minimum der Ablenkung und dem brechenden Winkel des Prismas berechne man das Brechungsverhältnis des Glases für verschiedene Farben.

Um nach dieser Methode das Brechungsverhältnis von Flüssigkeiten zu bestimmen, fülle man sie in ein Hohlprisma, dessen brechende Flächen durch ebene Glasplatten mit parallelen Flächen gebildet werden.

2. Totalreflektion. Man bedecke eine vertikal gestellte Fläche eines Glaswürfels mit einem befeuchteten Blatt Papier; damit das Wasser nicht zu schnell verdunstet, befestige man auf ihr noch eine etwas größere Glasplatte. Auf eine dieser Fläche benachbarten Seitenfläche des Würfels lasse man von einem vertikal stehenden Schirm Licht fallen; den Schirm beleuchte man mit einfarbigem Licht, indem man z. B. in einer Bunsenflamme Kochsalz verbrennen läßt (Fig. 45). Vor die der beleuchteten gegenüberliegende Würfel-

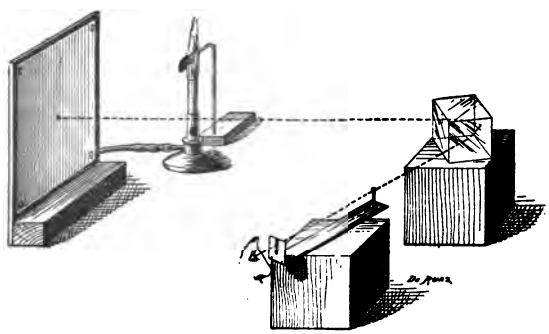


Fig. 45.

fläche stelle man horizontal ein schmales Brettchen, das an dem dem Würfel zugekehrten Ende einen Nagel, am andern ein mit vertikalem Schlitz versehenes Stück Blech trägt.

Man drehe den Würfel, bis man am metallischen Glanz merkt, daß ein Teil der vom Schirm ausgehenden Strahlen die Würfelfläche unter einem solchen Einfallswinkel getroffen hat, daß an der Grenze

Glas-Wasser Totalreflektion (23) eingetreten ist, verschiebe dann das Visierbrettchen, bis man die Grenze des total reflektierten und dann in Luft gebrochenen Lichtes gefunden hat, und markiere die Stellung.

Um den Brechungswinkel beim Austritt des Lichtes in Luft zu finden, richte man das Visierbrettchen senkrecht auf die Würfelfläche, bis das von dieser reflektierte Bild des Nagels in der Richtung der Visierlinie liegt. Hierbei empfiehlt es sich, den Nagel von der Seite her stark zu beleuchten und hinter den Würfel einen schwarzen Schirm aufzustellen. Man messe den Winkel zwischen beiden Richtungen des Visierbrettchens.

Man zeichne die Grundkante des Würfels nach, errichte auf der dem Brettchen zunächst liegenden Würfelfläche ein Lot, trage den vorher gefundenen Brechungswinkel an, berechne mit Hilfe des Brechungsgesetzes und des Brechungsverhältnisses Luft-Glas den zugehörigen Winkel im Glas, ziehe den hierdurch gefundenen Strahl im Würfel und verlängere ihn, bis er die Kante Glas-Wasser trifft. In diesem Punkte errichte man das Einfallslot; der hierdurch gefundene Winkel ist der Grenzwinkel der Totalreflektion. Mit Hilfe dieses Grenzwinkels berechne man das Brechungsverhältnis Glas-Wasser. Mit Hilfe der in Nr. 22, 4 gefundenen Beziehung berechne man aus dem eben ermittelten Brechungsverhältnis Glas-Wasser das Brechungsverhältnis Wasser-Luft, indem man das für Glas-Luft als bekannt voraussetzt.

Man wende diese Methode an, um das Brechungsverhältnis einer andern Flüssigkeit, z. B. Alkohol, Chloroform, Benzol zu berechnen.

3. Refraktometer. Man bringe die zu untersuchende Substanz als sehr dünne Schicht zwischen die Hypotenusenflächen zweier ganz gleichen, rechtwinkligen Prismen (24, 2), so daß das Ganze eine dicke, planparallele Platte bildet. Man benutze die bei der ersten Methode angewandten Brettchen, indem man sie in Nullstellung bringt und dann das Doppelprisma zwischen sie stellt, so daß die Lichtstrahlen senkrecht auf eine der Flächen fallen und man mittels des Visierbrettchens das Spaltbild erblickt. Dann drehe man die Platte, bis man das Spaltbild nicht mehr sieht, und bestimme den Brechungswinkel, um den der Strahl beim Austritt aus Glas in Luft einen Moment vor dem Verschwinden des Spaltbildes von der Normalen abgewichen ist, und den Winkel zwischen Kathete und Diagonale eines Prismas.

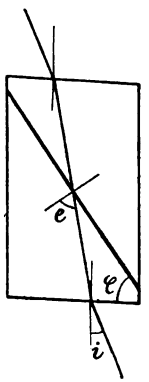


Fig. 46.

Man entwerfe eine Zeichnung des Durchganges des Lichtes durch die Prismen (Fig. 46). In welcher Beziehung steht der Einfallswinkel i Luft-Glas zu dem gemessenen Brechungswinkel Glas-Luft (22, 3)? Welche geometrische Beziehung besteht zwischen dem zu i gehörigen Brechungswinkel, dem Prismenwinkel φ und dem Grenzwinkel ε der totalen Reflexion beim Übergang aus Glas in die zu untersuchende Substanz? Man berechne

das Brechungsverhältnis dieser Substanz gegen Luft, indem man das des Glases gegen Luft als bekannt voraussetzt.

33. Achromasie. Prismen. 1. Man entwerfe durch ein Prisma ein Spektrum. Dann halte man hinter das Prisma ein zweites, ganz gleiches so, daß seine Schneide nach der entgegengesetzten Seite gewendet ist. Welchen Einfluß hat das zweite Prisma auf die durch das erste hervorgerufene Ablenkung und Farbenzerstreuung? — 2. Man entwerfe ein Spektrum einmal durch ein Flintglasprisma, dann durch ein Kronglasprisma von gleichem brechenden Winkel. Welches Prisma gibt die größere Ablenkung, welches die größere Farbenzerstreuung? — 3. Man setze hinter ein Kronglasprisma in umgekehrter Stellung ein Flintglasprisma von viel kleinerem — ungefähr halb so großem — brechenden Winkel. Wird die Ablenkung oder die Farbenzerstreuung nahezu aufgehoben? — 4. Verfügt man außer über ein Flintglasprisma über mehrere Kronglasprismen, so suche man durch Kombination von zwei oder mehr Prismen ein System zusammenzustellen, durch welches man die geringste Farbenzerstreuung, aber die größte Ablenkung erhält.

Linsen. 1. Man lasse das Licht einer Lampe durch eine mit Kupfersulfat gefüllte Flasche und dann durch eine feine Öffnung gehen und werfe auf einen weißen Papierschirm mittels einer Sammellinse aus Kronglas ein der Öffnung nahezu gleiches Bild. Dann ersetze man das Kupfersulfat durch rote Tinte. Muß man den Schirm vor- oder zurückschieben, um wieder ein scharfes Bild zu erhalten? — Man lasse weißes Licht auf die Linse fallen und beobachte für beide Schirmstellungen r und v den Rand des Bildes (Fig. 47). —

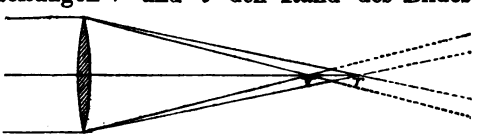


Fig. 47.

2. Man wiederhole die Versuche mit einer Sammellinse aus Flintglas, deren Brennweite ebenso bezw. halb so groß wie die der Kronglaslinse ist, und vergleiche die Schirmstellungen der Flintglaslinse untereinander und mit denen der Kronglaslinse. — Man vereinige eine Sammellinse aus Kronglas mit einer Zerstreuungslinse aus Flintglas, deren Zerstreuungsweite gleich der halben Brennweite der andern Linse ist, und betrachte durch das System eine Schrift oder ein Bild. — Man kann hierzu auch das achromatische Objektiv eines Mikroskopes oder eines Fernrohres benutzen.

Die in optischen Instrumenten gebrauchten Linsen sind meist achromatische Systeme, d. h. Systeme, bei denen durch Vereinigung von Kron- und Flintglaslinsen die Farbenabweichung ausgeglichen ist.

---

34. Lupe. Man sehe durch eine Sammellinse nach einem Maßstab, bringe einen zweiten, dem ersten gleichen Maßstab parallel zu

ihm in deutliche Sehweite und betrachte mit demselben Auge gleichzeitig beide Maßstäbe, den einen durch die Lupe, den andern direkt. Man verschiebe den einen so, dass ein Strich des einen Stabes mit einem des andern eine gerade Linie bildet, und schätze, ohne das Auge anzustrengen, wieviel Teile des direkt gesehenen Maßstabes auf einen Teil des mit der Lupe gesehenen fallen; diese Zahl gibt die Vergrößerung der Lupe. In welcher Beziehung steht die Vergrößerung zur Gegenstand- und Bildweite (26)? — Man wiederhole die Versuche für zwei Lupen von verschiedenen Brennweiten. Welche Lupe gibt die stärkere Vergrößerung?

35. Mikroskop. Man entwerfe durch eine Sammellinse von kurzer Brennweite (Objektiv) das vergrößerte Bild einer Kerze auf eine matte Glasscheibe und betrachte es durch eine dem Objektiv parallel gestellte Sammellinse von großer Brennweite (Okular); dann entferne man die Glasscheibe und betrachte durch dieses Modell eines Mikroskopes die Kerze. — Man lege auf den Objekttisch eines Mikroskopes (Fig. 48) ein Glasmikrometer, d. h. einen Glasmaßstab, auf welchem z. B. 1 mm in 20 gleiche Teile geteilt ist, und stelle das Mikroskop auf das Mikrometer ein. Dann lege man parallel zum Glasmaßstab in deutlicher Sehweite einen andern Maßstab, blicke mit dem einen Auge auf das Mikrometer, mit dem andern auf den zweiten Maßstab und stelle die Vergrößerung fest, d. h. wieviel Teile des zweiten Maßstabes auf einen des Mikrometers kommen. — In Ermangelung eines Mikrometers kann man sich auch eines Stückes Draht bedienen, dessen Dicke man mit dem Palmermaß bestimmt hat. In beiden Fällen kann man auch an Stelle des zweiten Maßstabes ein Blatt Papier in die deutliche Sehweite legen und auf ihm das Mikroskopbild abzeichnen.

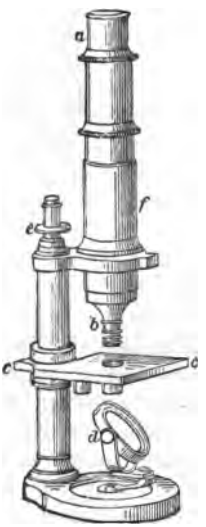


Fig. 48.

Man wiederhole den Versuch für verschiedene Objektive und Okulare. Welchen Einfluß hat die Vergrößerung der Brennweiten auf die Änderung der Vergrößerung des Bildes?

Verfügt man über eine Camera lucida (24, 1) oder ein Reflexionsprisma (24, 2), so zeichne man mit ihrer Hilfe ein mikroskopisches Präparat nach. Wie müssen diese Apparate über dem Mikroskopokular, und wie muß das Zeichenpapier angebracht werden?

Man stelle auf den Objekttisch ein kleines Becherglas und stelle das mit schwachem Objektiv versehene Mikroskop auf einen am Boden des Glases liegenden Gegenstand ein, fülle das Becherglas mit Wasser oder Zedernholzöl und stelle von neuem ein. Wie ändert sich die Apertur des Mikroskopes, d. h. die Größe des Sehwinkels (9, 5), unter dem das Objektiv von einem Punkt des Gegenstandes aus

erscheint, indem man berücksichtigt, daß infolge der beim Übergang aus Flüssigkeit in Luft eintretenden Brechung der Gegenstand höher erscheint.

Nimmt die Flüssigkeit den ganzen Raum zwischen Objekt und Objektiv ein, so wird die Apertur noch mehr vergrößert (Immersionssystem). Welchen Einfluß hat die durch die Immersion erreichte Vergrößerung der Apertur auf die Helligkeit des Gesichtsfeldes?

36. Astronomisches Fernrohr. 1. Einstellung auf Unendlich. Man befestige eine Sammellinse von großer und eine andere von kleiner Brennweite als Objektiv bezw. Okular mittels kleiner Zinkstreifen auf zwei ineinander verschiebbaren schmalen Brettchen (Fig. 49). Man bestimme zunächst die Brennweite jeder Linse.

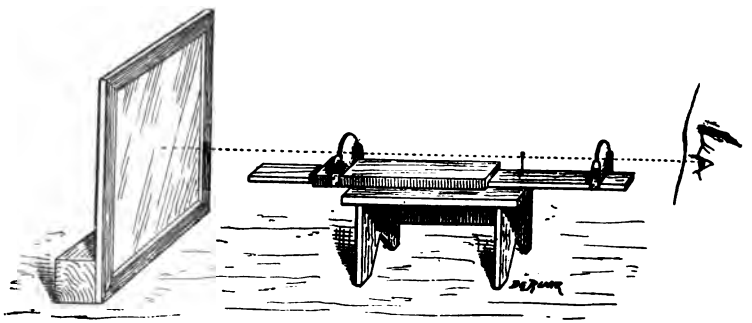


Fig. 49.

Dann stelle man vor das Okular einen Nagel so, daß man durch das Okular sein deutliches Bild erblickt, und vergleiche die Entfernung zwischen Nagel und Linse mit der Brennweite der letzteren. Man schiebe die Brettchen ineinander, stelle in ihrer Richtung möglichst weit entfernt eine Kerzenflamme auf, fange das Bild mittels eines zwischen beiden Linsen gehaltenen Blattes Papier auf und verschiebe den Nagel, bis er in der Ebene des Papiers liegt. Welche Lage nimmt er demnach in bezug auf das Objektiv ein? Dann entferne man das Papier und sehe durch das Okular nach der Kerze. Welche Beziehung hat die Entfernung beider Linsen zu ihren Brennweiten? Welche Lage zueinander haben die Strahlen, auf welche das Modell eines astronomischen Fernrohres eingestellt ist?

Man kann den Apparat auch auf einen ebenen Spiegel richten und das Objektiv verschieben, bis man durch das Okular das durch das Objektiv nach der Reflexion am Spiegel entworfene Bild des Nagels in der Ebene des Nagels erblickt.

Wodurch unterscheidet sich das Fernrohr im Bau und Zweck vom Mikroskop? Sind die Bilder aufrecht oder verkehrt?

2. Gesichtsfeld. Man beleuchte das Objektiv, fange sein durch das Okular entworfenes Bild (Okularkreis) mit einem Schirm auf und markiere dessen Stellung. Dann entferne man die Beleuch-

tung der Objektivlinse und den Schirm und visiere nach einem entfernt aufgestellten Maßstab (Drahtnetz), indem man das Auge vor, hinter oder in den Okularkreis hält. Welches ist der günstigste Augenort, d. h. wann wird das Auge von den meisten vom Objektiv kommenden und aus dem Okular austretenden Strahlen getroffen, übersieht also das größte Gesichtsfeld?

3. Vergrößerung. Man stelle auf ein entfernt aufgestelltes Drahtnetz (oder eine Skala, Ziegeldach usw.) ein, sehe mit dem einen Auge durch das Fernrohr, mit dem andern neben ihm vorbei, so daß die mit beiden Augen gesehenen Bilder sich decken, berechne die Vergrößerung aus der Zahl der auf eine Länge des Bildes gehenden Längen des direkt gesehenen Maßstabes und vergleiche das Resultat mit dem Verhältnis der beiden Brennweiten. — Man stelle möglichst nahe vor das Objektiv einen mit den Spitzen nach oben gerichteten Zirkel (Fig. 50), fange das durch das Okular entworfene Bild auf einer mit Millimetermaßstab versehenen matten Glasscheibe auf, messe die Vergrößerung und vergleiche das Resultat mit der im ersten Versuch gefundenen Vergrößerung.

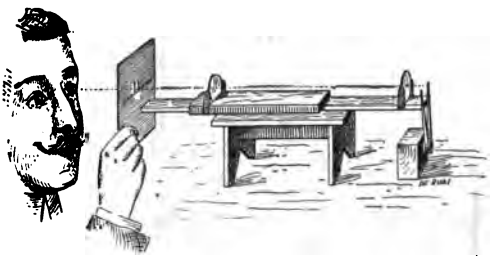


Fig. 50.

Eine Anwendung findet das astronomische Fernrohr z. B. im Goniometer (Fig. 51). Man stelle das (astronomische) Fernrohr auf unendlich ein, indem man es vom Apparat herunternimmt und auf einen entfernten Gegenstand (Kirchturmspitze) richtet, bringe es dem gewöhnlich mit großem Schirm versehenen Kollimatorrohr (Spaltrohr) gegenüber auf den Tisch und ziehe dieses aus, bis man seinen Spalt

Fig. 51.

scharf sieht. Man messe mit dem Goniometer in derselben Weise wie oben (15) den brechenden Winkel eines Prismas und vergleiche die hier erreichte Genauigkeit mit der dort erreichten.

In ähnlicher Weise verbessert man auch die Poggendorffsche Spiegelablesung (15), indem man anstelle der beiden Nägel des Visierbrettchens ein astronomisches Fernrohr zum Ablesen benutzt.

Man stelle (Fig. 52) dem Spiegel ST gegenüber ein mit Fadenkreuz versehenes astronomisches Fernrohr F auf und unmittelbar darüber oder darunter eine gut beleuchtete Skala, Metermaßstab, s, deren Mittelpunkt s_0 mit der Achse des Fernrohres in derselben vertikalen Ebene liegt. Hängt der Spiegel in irgend einem Meßinstrument, z. B. in einem Galvanometer, so sucht man zunächst für das Fernrohr mit Skala eine solche Stellung, daß man im Spiegel das Bild der Mitte s_0 der Skala erblickt, daß also der einfallende und der reflektierte Strahl in derselben vertikalen Ebene r liegen. Wird jetzt der Spiegel um einen Winkel α gedreht, z. B. indem man durch das Galvanometer einen elektrischen Strom schickt, so erblickt man den Skalenteil s_1, dessen einfallender Strahl E mit dem reflektierten Strahl r, wie in 15 bewiesen, den Winkel 2α bildet. Man berechne aus der Entfernung r der Skala vom Spiegel und der Ablesung $s_1 - s_0$ den Winkel α, indem man beachtet, daß das aus E, r und s gebildete Dreieck rechtwinklig ist. Wie vereinfacht sich die Rechnung für den Fall, daß α sehr klein ist?

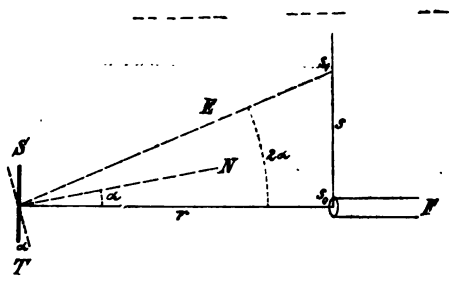


Fig. 52.

37. Das terrestrische Fernrohr. Man stelle eine Sammellinse von großer Brennweite (Objektiv), eine Mattglasscheibe, eine Sammellinse von kleiner Brennweite und eine zweite Mattscheibe hintereinander auf, bringe in dieser Richtung in möglichst großer Entfernung vor das Objektiv eine Kerzenflamme und verschiebe die zweite Linse und beide Glasscheiben, bis auf diesen scharfe Bilder der Flamme erscheinen. Ist das zweite Bild aufrecht oder verkehrt? Dann stelle man hinter die zweite Mattscheibe eine als Lupe dienende Sammellinse, stelle sie auf das letzte Bild ein und entferne die Glasscheiben.

Man bestimme die Vergrößerung dieses Modelles eines terrestrischen Fernrohres und vergleiche sie mit dem Verhältnis der Brennweiten der ersten und letzten Linse. Welchen Zweck hat die mittlere Linse (Umkehrlinse)?

38. Das Galileische Fernrohr (Opernglas). Man setze in ähnlicher Weise wie beim astronomischen ein Galileisches Fernrohr zusammen, indem man als Objektiv eine Sammellinse von großer

Brennweite und als Okular eine Zerstreuungslinse von kleinerer Zerstreuungsweite benutzt. Zuerst werfe man durch das Objektiv das Bild einer möglichst weit entfernt stehenden Kerze auf eine matte Glasscheibe, setze dann das Okular zwischen Objektiv und Glasscheibe und verschiebe nach Entfernung der letzteren das Okular, bis man durch dasselbe das vergrößerte virtuelle Bild in der deutlichen Sehweite erblickt. Man bestimme die Brennweiten der Linsen. In welcher Beziehung steht die Entfernung beider Linsen zu ihren Brennweiten (36, 1)? Man vergleiche die Längen des astronomischen und des Galileischen Fernrohres, wenn beide dasselbe Objektiv haben. Sind die Bilder aufrecht oder verkehrt?

Man bestimme die Vergrößerung und vergleiche sie wieder mit dem Verhältnis der Brennweiten.

39. Das Prismenfernrohr. Man lasse das Licht einer weit entfernten Kerzenflamme durch das Objektiv eines Galileischen Fernrohres gehen und stelle in den Weg der austretenden Strahlen (Fig. 53) ein Reflexionsprisma mit horizontal gerichteter brechender Kante so,

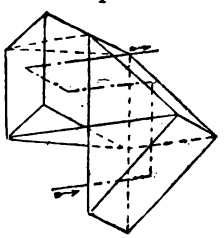


Fig. 53.

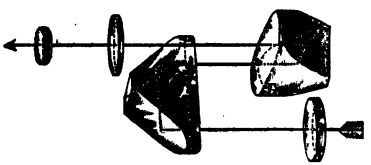


Fig. 54.

daß die Hypotenusenfläche rechtwinklig zur Strahlenrichtung steht. Ein zweites Reflexionsprisma stelle man mit vertikal gerichteter brechenden Kante so vor das erste Prisma, daß die beiden Hypotenusenflächen sich berühren und sich zur Hälfte decken. Hinter beide Prismen, in den Weg der aus dem zweiten Prisma austretenden Strahlen bringe man eine matte Glasscheibe, auf welcher man das Bild der Kerze auffängt. Ist dies Bild aufrecht oder verkehrt? Man entferne die Glasscheibe und vervollständige das Fernrohr durch eine Linse. Muß diese eine Sammel- oder Zerstreuungslinse sein, wenn das Bild aufrecht sein soll?

Man entferne die beiden Prismen voneinander (Fig. 54). Wie ändert sich die Länge des Fernrohres?

40. Zusammengesetztes und einfaches Licht. Man entwerfe ein Sonnenspektrum. Dann fange man die aus dem Prisma kommenden verschiedenfarbigen Strahlen wieder durch eine Sammellinse auf. Welche Farbe hat das auf einen Schirm geworfene Bild?

An Stelle der Linse kann man auch einen Hohlspiegel benutzen. Man stelle ihn so auf, daß das Prisma neben seinem Krümmungsmittelpunkt etwas außerhalb der Achse steht (Fig. 55), und verfolge den Verlauf der reflektierten verschiedenfarbigen Strahlen mittels

eines in ihren Weg gehaltenen weißen Schirmes. Wo liegt das Bild des Prismas? Welche Farbe besitzt es?

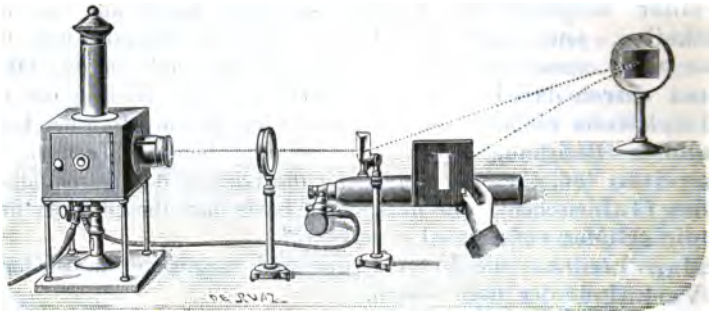


Fig. 55.

41. Regenbogen. Man lasse im verdunkelten Zimmer das durch eine Öffnung des Fensterladens einfallende Sonnenlicht auf eine mit

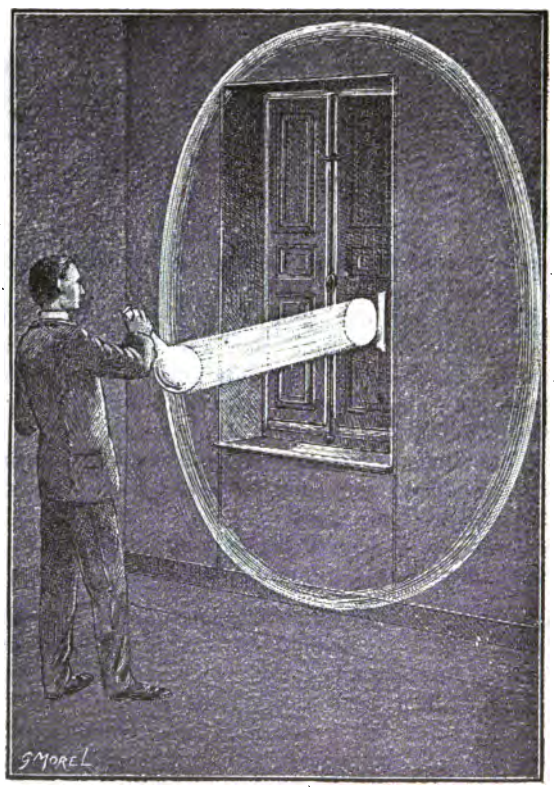


Fig. 56.

destilliertem Wasser gefüllte Glaskugel fallen (Fig. 56); die Öffnung muß mindestens so groß wie die Kugel sein. Man bringe vor die Öffnung der Reihe nach verschiedenfarbige Gläser und beobachte die an der Wand entstehenden farbigen Kreislinien. Dann lasse man weißes Licht einfallen und beobachte den Regenbogen. In welcher Reihenfolge sind die Farben geordnet?

Man stelle auf eine Ecke eines Tisches eine stark leuchtende Lampe, vor sie ein farbiges Glas und in die nächste Ecke die Glaskugel (Fig. 57). Welchen Weg gehen die Lichtstrahlen, welche senkrecht auf die Mitte der Kugel fallen? Welchen Verlauf haben die diesen mittleren parallelen seitlichen Strahlen, wenn sie an die vordere Fläche der Kugel kommen, welchen weiteren Verlauf, wenn sie durch das Wasser hindurch auf die hintere Glasfläche fallen (23)? Wird der Einfallswinkel, unter welchem die Strahlen auf diese Fläche fallen, größer oder kleiner, je weiter die ursprünglichen, von der Lichtquelle kommenden Strahlen vom Mittelstrahl entfernt sind? Wie gehen die Strahlen weiter, die an der hinteren Fläche Totalreflexion erleiden? Man suche den dem Maximum der Ablenkung entsprechenden Strahl, indem man an der Fläche eines Holzklotzes vorbei visiert und durch ein zwischen die Lampe und die Kugel gehaltenes Bleilot den zugehörigen einfallenden Strahl aufsucht. Man zeichne die Richtung beider Strahlen auf dem Tische nach und messe den von beiden gebildeten Winkel, das Maximum der Ablenkung. Verfährt man ebenso auf der andern Seite der Lichtquelle, so erhält man den nach dieser Seite am weitesten abgelenkten Strahl (Fig. 58). Welchen beiden Stellen des

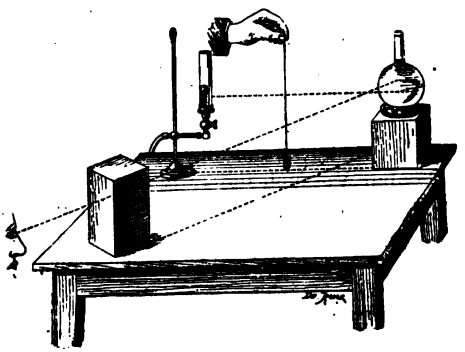


Fig. 57.

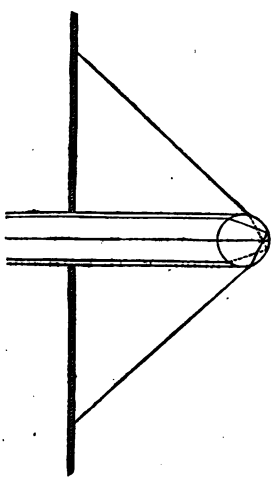


Fig. 58.

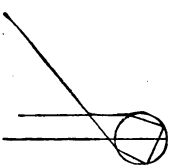


Fig. 59.

im ersten Versuch erhaltenen Regenbogens entsprechen die beiden Strahlen? Denkt man sich die beiden Strahlen um den mittleren Strahl rotierend, so entsteht auf einem vor die Kugel gestellten Schirm, welcher in seiner Mitte zum Durchlassen der einfallenden Strahlen mit einer Öffnung versehen ist, das kreisförmige Spektrum.

Wie oft muß ein Lichtstrahl im Innern der Kugel total reflektiert werden, wenn noch ein zweites kreisförmiges Spektrum (Nebenregenbogen) entstehen soll (Fig. 59). Wie sind die Farben in diesem geordnet?

42. Komplementärfarben. 1. Man halte bei der in Nr. 40 benutzten ersten Versuchsanordnung ein Prisma mit kleinem brechenden Winkel so in den Weg der aus der Linse austretenden verschiedenfarbigen Strahlen eines Spektrums, daß die roten abgelenkt werden und ein zweites Bild des Spaltes geben. Welche Farbe zeigt das erste Spaltbild? Zu welcher Farbe ergänzen sich die Farben beider Bilder wieder, wenn das zweite Prisma entfernt wird? Man wiederhole den Versuch indem man mit Hilfe des Prismas gelbe oder violette Farben ablenkt. Welche Komplementärfarben erhält man?

2. Man schneide aus schwarzem Papier zwei Spalte, wie Fig. 60 angibt, beleuchte sie stark von der Rückseite und betrachte

Fig. 60.

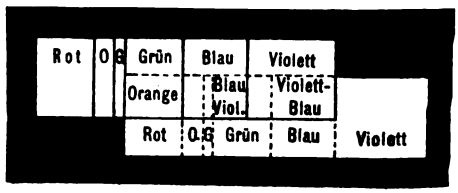


Fig. 61.

sie von vorn durch ein Prisma. Man erhält dann zwei Spektren, die sich teilweise übereinanderlagern, wodurch an diesen Stellen neue Farben entstehen. Man suche durch verschieden weit entfernte Spalte je zwei einfache Farben, die zusammen weiß geben, z. B. gelb und blau (Fig. 61). — Das Grün des Spektrums besitzt keine einfache Komplementärfarbe, sondern ergänzt sich nur mit zwei anderen Farben zu weiß. Man suche diese Farben mit Hilfe von drei Spalten.

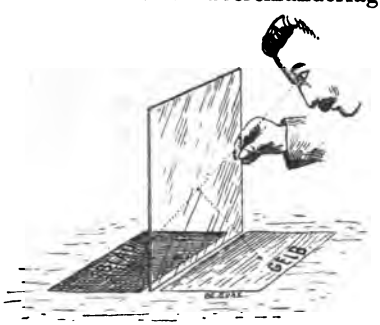


Fig. 62.

3. Man lege zwei in Komplementärfarben gehaltene Blätter Papier nebeneinander auf einen schwarzen Untergrund, stelle zwischen beide vertikal eine unbelegte Spiegelglasplatte (Fig. 62) und richte auf diese das Auge so, daß

man die eine Farbe durch das Glas hindurch, die andere durch Reflexion der Strahlen sieht. Man ändere die Stellung des Auges, so daß die von den Blättern kommenden Strahlen unter den verschiedensten Einfallswinkeln auf die Spiegelglasplatte fallen. Welchen Einfluß hat dieser Wechsel auf den Farbeneindruck im Auge (14)?

43. Spektralapparate. Geradsichtiges Prisma. Taschenspektroskop. Man markiere bei der in Nr. 31 benutzten ersten Versuchsanordnung für ein Flintglasprisma die Stellung des grünen Lichtfleckes. Dann suche man ein Kronglasprisma, für welches dieser Fleck dieselbe Lage einnimmt. Man setze hinter das Flintglasprisma das Kronglasprisma in umgekehrter Stellung. Welche Richtung bilden die in das erste Prisma eintretenden und die aus dem zweiten austretenden Lichtstrahlen miteinander?

Man lasse weißes Licht durch beide fallen und vergleiche die Lage des Spektrums mit der Lage des durch ein Prisma erhaltenen.

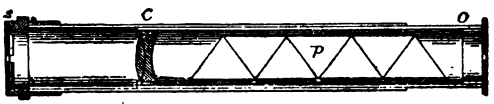


Fig. 63.

Man sehe durch diese Kombination nach einem leuchtenden Spalt. Worin liegt für den Beobachter der Vorteil einer solchen Kombination gegenüber einem einzelnen Prisma? Eine Anwendung solcher Kombination ist das Taschenspektroskop (Fig. 63): Bei *s* ist der Spalt, *C* ist eine achromatische Linse (33), *p* die aus drei Flint- und

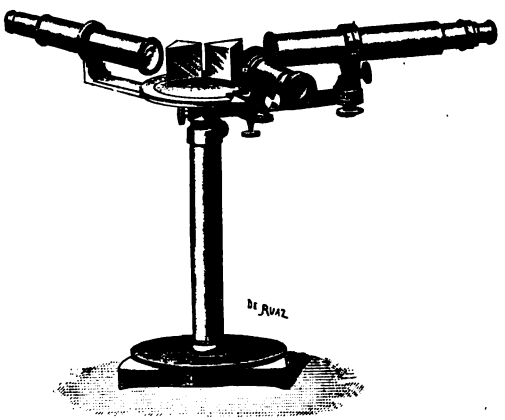


Fig. 64.

vier Kronglasprismen bestehende Prismenkombination und *O* die Öffnung für das Auge.

Spektrometer. Man beleuchte bei den in Nr. 32, 1 angestellten Versuchen nicht mit einfarbigem, sondern mit weißem Licht, stelle

das Visierbrettchen der Reihe nach auf die verschiedenen Farben ein und bestimme die Brechungsquotienten für dieselben.

Ein zu genauen Messungen dienendes Spektrometer (Fig. 64) trägt außer dem Kollimatorrohr und dem (astronomischen) Fernrohr noch ein Skalenrohr, welches, wie das Kollimatorrohr (36) gebaut, im Brennpunkt seiner Linse einen kleinen Maßstab mit durchsichtigen Teilstrichen besitzt.

Man richte das Fernrohr durch ein geöffnetes Fenster und stelle auf unendlich ein (36); dann beleuchte man den Spalt des Kollimatorrohres mit weißem Licht, bringe dies Rohr und das Fernrohr in dieselbe Richtung und stelle auch das Kollimatorrohr auf unendlich ein. Man setze nun das Prima oder vorteilhafterweise mehrere aus gleichem Glas auf und betrachte durch das Fernrohr das Spektrum. Das Skalenrohr richte man auf dieselbe Prismenfläche, auf die das Fernrohr zeigt. Wie müssen beide Rohre auf diese Fläche gerichtet sein, damit das Bild des Maßstabes im Fernrohr mit dem Bild des Spektrums zusammenfällt (15)?

44. Fraunhofersche Linien. Man sehe durch ein Prisma nach einem etwa 1,50 m entfernten, 3 mm breiten Streifen weißes Papier, der, von direkten Sonnenstrahlen beleuchtet, sich von einem dunklen Hintergrunde abhebt, und beobachte im Spektrum die verschiedenen schwarzen Linien und ihre Lage zu den einzelnen Farben (Fig. 65 siehe Spektraltafel). An Stelle des Papierstreifens kann man auch eine glänzend polierte Stricknadel benutzen.

Man betrachte das Sonnenspektrum durch ein Spektroskop, dann lasse man die Sonnenstrahlen durch ein farbiges Glas oder eine farbige Flüssigkeit gehen. Man lasse ferner das diffuse Tageslicht oder das durch weißes oder farbiges Papier diffus gemachte Licht in das Spaltrohr eintreten. Wie ändert sich bei diesen Versuchen die Lage der dunklen Linien innerhalb der einzelnen Farben? Man zeichne die Skala des Spektrometers auf und trage in sie die Fraunhoferschen Linien ein.

Welchen Schluß kann man aus den dunklen Linien im Spektrum auf das Vorhandensein der ihnen entsprechenden Lichtarten im Sonnenlicht ziehen?

Man wiederhole die Bestimmung des Brechungsverhätnisses mittels des Spektrometers für Prismen von Kron- oder Flintglas, indem man das Fernrohr der Reihe nach für die dunklen Linien *B, D, E, H* einstellt, und vergleiche die Resultate miteinander.

45. Emission. Man leime auf eine vertikal gestellte Glasplatte ein Blatt Stanniol und bringe in letzterem einen vertikalen, etwa 15 cm langen und 0,5 mm breiten Spalt an. Vor den Spalt bringe man eine Linse, vor diese ein Prisma, so daß der Spalt im Brennpunkt der Linse steht und das Bild des Spaltes durch Prisma und Linse beobachtet werden kann (Fig. 66). Hinter den Spalt stelle man die Lichtquelle.

Glühende, feste und flüssige Körper. Als Lichtquelle nehme man eine hell leuchtende Gas-, Öl- oder Kerzenflamme, elektrische Glüh- oder Bogenlampe, einen durch die nichtleuchtende Bunsen-

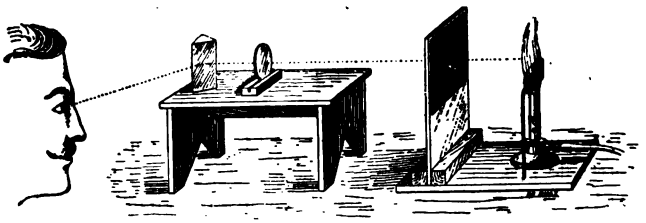


Fig. 66.

flamme weißglühend gemachten Platin- oder Eisendraht und vergleiche die verschiedenen Spektren miteinander und mit dem Sonnenspektrum.

Leuchtende Dämpfe und Gase. Man biege aus einem Drahtnetz ein kleines muldenförmiges Gefäß, befestige es an einem rechtwinklig gebogenen, vertikal gestellten Draht, bringe etwas Kochsalz oder eine andere in der Flamme sich verflüchtigende Natriumverbindung oder ein Stückchen reines Natrium in diese Mulde und halte sie in die nichtleuchtende Bunsenflamme. Wie unterscheidet sich dieses Spektrum von allen früheren? Ist das Licht des Natriumdampfes einfach oder aus mehreren Farben zusammengesetzt?

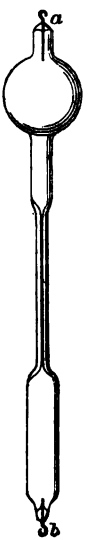


Fig. 67.

Man befeuchte einen in einem Glasröhrchen eingeschmolzenen Platindraht der Reihe nach mit den Lösungen der Chloride von Natrium, Kalium, Barium, Lithium, Thallium, Strontium und Kupfer, indem man den Draht jedesmal durch Eintauchen in Salzsäure wieder säubert. Man beobachte und merke sich die jedem Metall entsprechenden hellen Linien bezw. Banden. Dann tauche man den Platindraht in ein Gemisch mehrerer dieser Salze und bestimme aus dem Spektrum die einzelnen Metalle.

Stoffe, zu deren Verdampfung die Hitze der Bunsenflamme nicht ausreicht, verflüchtige man im elektrischen Funken, indem man die Entladung eines Funkeninduktors, verstärkt durch eine nebengeschaltete Leydener Flasche, zwischen Polspitzen übergehen läßt, die aus dem zu untersuchenden Metall, z. B. Cadmium, bestehen oder mit der zu untersuchenden Verbindung überzogen sind.

Um ein Gas leuchtend zu machen, lasse man die Entladung mittels der eingeschmolzenen Platindrähte *a* und *b* (Fig. 67) durch eine Geißlersche Spektralröhre gehen, welche das Gas in verdünntem Zustand enthält.

Verfügt man über ein Spektroskop, so stelle man irgend eine Linie, z. B. die des Natriums, auf eine bestimmte Stelle der Skala,

z. B. 50, ein, bestimme dann die Lage der andern und trage sämtliche Linien in eine Zeichnung ein. Das Auffinden der Lage der Linien in der Skala ist leicht, da die Natriumlinie fast immer vorhanden ist. Man erzeuge z. B. nur ein wenig Staub in der Nähe der Bunsenflamme und beobachte die sofort auftretende charakteristische Linie.

46. Absorption. Man stelle eine Petroleumlampe etwas weit entfernt von einem Taschenspektroskop auf und projiziere mittels einer Sammellinse das verkleinerte Bild der Lampe auf den Spalt des Spektroskopes.

Feste und flüssige Körper. Man bedecke den Spalt zum Teil mit farbigen Gläsern und vergleiche die nebeneinanderliegenden Spektren. Welche Farben werden durchgelassen, welche verschluckt? Man benutze Gläser derselben Farbe, aber von verschiedener Farbentönung.

Man bringe vor den Spalt Reagenzgläser, die mit Kupferchlorid oder Anilinfarben oder einer Chlorophyllösung gefüllt sind; die Chlorophyllösung erhält man, wenn man frische, grüne Blätter kurze Zeit in Alkohol liegen läßt. Man bestimme aus der Lage und der Breite der dunklen Linien, welche Lichtarten absorbiert werden.

Man bringe vor den Spalt einige Tropfen Blut, welche sich zwischen zwei Glasplatten befinden. Welches Ende des Spektrums ist völlig verschwunden? An welchen Stellen befinden sich noch zwei Absorptionsstreifen?

Gasförmige Körper. Man biege einen schmalen Streifen eines Drahtnetzes an beiden Enden auf etwa ein Drittel der Länge unter spitzem Winkel um, so daß die beiden Kanten oben zusammenstoßen; den mittleren Teil drücke man nach innen etwas ein (Fig. 68). Diese kleine Rinne, in die man einige Kochsalzkörnchen gelegt hat, stelle man auf die horizontal liegenden Enden zweier rechtwinklig umgebogenen, vertikal gestellten Metallstäbe, in Höhe des blauen Lichtkegels der nichtleuchtenden Bunsenflamme. Man bringe zwischen Linse und Spektroskop die Flamme in solche Höhe, daß das ganze Licht der Lampe mitten durch den absorbierenden Teil der Flamme hindurchgehen kann (Fig. 69). Man beobachte die dunkle Linie in dem Emissionsspektrum des Lampenlichtes. Man blende durch einen kleinen Schirm den oberen Teil des Lampenlichtes ab, so daß nun der obere Teil der Natriumflamme die gelbe Emissionslinie erzeugt und diese als Fortsetzung der unteren dunklen Absorptionslinie erscheint. Welche Lichtart strahlen demnach die Natriumdämpfe aus, welche absorbieren sie?

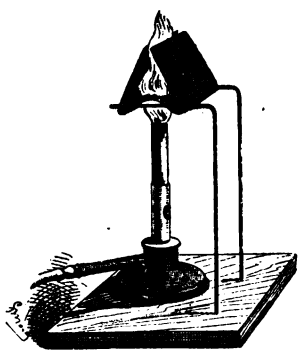


Fig. 68.

Welchen Schluß kann man aus dem Sonnenspektrum auf den Kern der Sonne, welchen auf die Sonnenatmosphäre ziehen?

Das Absorptionsspektrum der salpetrigen Säure erhält man sehr

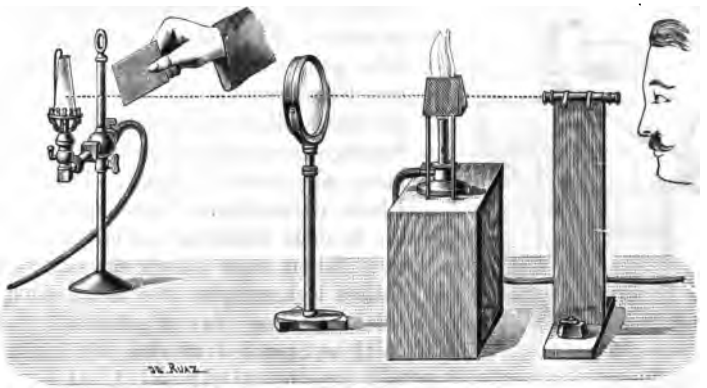


Fig. 69.

einfach, wenn man in einem Reagenzglas ein Kupferstück mit konzentrierter Salpetersäure übergießt und die sich entwickelnden Dämpfe vor den Spalt bringt.

47. Körperfarben. Man sehe durch zwei verschiedenfarbige Gläser, von denen jedes die Farbe des andern absorbiert. Welche Farbe beobachtet man? Man schichte vorsichtig in eine Flasche eine Lösung von Anilinrot in Alkohol und von Kupferchlorid in Salzsäure übereinander und betrachte die beiden Farben bei durchfallendem Licht. Dann schüttle man die beiden Flüssigkeiten durcheinander. Welche Farbe erhält man jetzt? — Man beleuchte rotes Papier mit einer gelben Flamme. Welche Farbe zeigt es? — Man lasse das Sonnenspektrum auf rotes Papier fallen. Welcher Teil des Spektrums bleibt sichtbar? Man wiederhole diesen Versuch für verschiedenfarbige Schirme. — Welche Farben nehmen farbenreiche Gemälde oder die Gesichter der Menschen im Licht der Natriumflamme an?

48. Fluoreszenz. Ultraviolette Strahlen. 1. Man gieße Petroleum oder Lösungen von Eosin, Chinin, Naphthalinrot, Lackmustinktur, Chlorophyll oder Fluoreszin in ein Glasgefäß und betrachte die verschiedenen Farben der Flüssigkeiten bei auffallendem und bei durchgehendem Tages- oder Sonnenlicht. Man gieße eine der Flüssigkeiten in ein Glasgefäß mit planparallelen Wänden, lasse ein schmales Bündel Sonnenstrahlen durch die Flüssigkeit gehen und dann auf einen weißen Schirm fallen und betrachte die Farbe des in der Flüssigkeit hervortretenden Lichtbündels und die des Lichtfleckes auf dem Schirm. Welches ist die Farbe des Fluoreszenzlichtes und welches die Eigenfarbe der Substanz? — 2. Man fülle ein Reagenzglas mit einer fluoreszierenden Flüssigkeit und betrachte das

Fluoreszenzlicht. Dann halte man das Reagenzglas in ein mit derselben Flüssigkeit gefülltes Glasgefäß (Fig. 70) und betrachte wieder das Reagenzglas. Man kann auch ein Bündel Sonnenstrahlen durch zwei hintereinander gestellte, mit derselben Flüssigkeit gefüllte Glasgefäße gehen lassen. Welches Gefäß zeigt das Fluoreszenzlicht? Werden demnach die dieses Licht erzeugenden Lichtstrahlen durchgelassen oder absorbiert? — 3. Man lasse ein mittels Spalt, Prisma und Linse entworfenes Sonnenspektrum auf die in dem Glastrog enthaltene Flüssigkeit fallen oder führe ein mit ihr gefülltes Reagenzglas der Reihe nach vor allen Farben des Spektrums vorbei. Welche Strahlen werden durchgelassen, welche absorbiert? — 4. Man untersuche nach der in Nr. 46 angegebenen Methode das Absorptionsspektrum der eben benutzten Flüssigkeit. — 5. Man führe das mit der fluoreszierenden Flüssigkeit gefüllte Gefäß über das violette Ende des Spektrums hinaus. Wie ändert sich das Fluoreszenzlicht der Flüssigkeit? Welchen Schluß kann man hieraus auf das Vorhandensein von Lichtstrahlen ziehen, die eine noch größere Brechbarkeit besitzen als die violetten Strahlen? Verfügt man über ein Prisma und eine Linse aus Quarz oder Uviolglas (*Ultraviolett*), so kann man den ultravioletten Teil des Sonnenspektrums (Fig. 71) nebst den Fraunhoferschen Linien sicht-

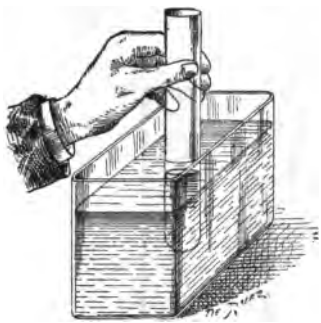


Fig. 70.

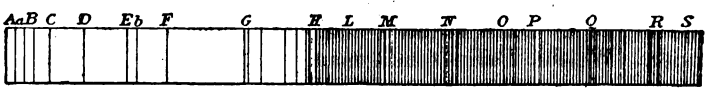


Fig. 71.

bar machen, wenn man als Schirm ein mit einer fluoreszierenden Substanz, z. B. Bariumplatincyanür, überzogenes Blatt Papier benutzt. Man entwerfe ein Sonnenspektrum und halte eine fluoreszierende Flüssigkeit nur in den Weg der Strahlen, welche ihr Fluoreszenzlicht hervorrufen, also z. B. Petroleum, Chinin, Fluoreszin in das Gebiet der violetten und ultravioletten, Eosin, Naphthalinrot, Blattgrün in das der minder brechbaren Strahlen, lasse das Fluoreszenzlicht auf ein Prisma fallen und entwerfe auf einem weißen Schirm ein Spektrum. Enthält dieses nur die Strahlen, welche das Fluoreszenzlicht erzeugt haben, oder auch Strahlen von kleinerer bezw. größerer Brechbarkeit? Man halte in den Weg der aus dem Prisma austretenden Strahlen eine Sammellinse und vergleiche die resultierende Farbe mit der des Fluoreszenzlichtes der betreffenden Flüssigkeit (31, 1 u. 42, 2).

Man kann die Umwandlung von Lichtstrahlen auch nachweisen, indem man das grüne Fluoreszenzlicht einer Fluoreszinnatronlösung

welche man durch Auflösen von Fluoreszin in sehr verdünnter Natronlauge erhält, mittels eines durch eine Linse konvergent gemachten Sonnenstrahlenbündels erzeugt und die Flüssigkeit einmal durch ein tiefblaues Kobaltglas, dann direkt beobachtet, indem man das Kobaltglas zwischen Linse und Flüssigkeit hält. In welchem Falle sieht man das grüne Fluoreszenzlicht, in welchem nicht?

Nachleuchten. 1. Man bringe pulverförmiges Schwefelkalzium oder Schwefelstrontium oder Schwefelbarium in eine schwache Gummilösung und überziehe mit dieser Mischung Papier oder Blech. Man setze solche Stoffe einige Zeit einer starken Beleuchtung, wie dem Sonnen- oder Bogenlicht oder auch dem Magnesiumlicht, aus und beobachte im dunklen Zimmer das Nachleuchten. Es empfiehlt sich, die Augen schon vorher der Dunkelheit auszusetzen, da sie dann empfindlicher für das schwache Phosphoreszenzlicht sind. — 2. Man entwerfe auf das mit der phosphoreszierenden Substanz bestrichene Papier, das vorher noch nicht belichtet worden war, ein Sonnenspektrum, wozu man, um das Gebiet der ultravioletten Strahlen zu erhalten, wie vorher ein Prisma und eine Linse aus Quarz oder Uviolglas verwendet, und beobachte für jede der drei Substanzen in welchem Gebiet des Spektrums und mit welcher Farbe sie leuchten. — 3. Man halte ein mit Fluorkalzium überzogenes Papier so an ein mit einer Lösung von saurem Chininsulfat gefülltes Glasgefäß, daß das Papier vom Tages- oder Sonnenlicht zum Teil direkt, zum Teil erst nach Durchgang des Lichtes durch die Flüssigkeit kurze Zeit belichtet wird (Fig. 72). Man betrachte dann das Papier im dunklen Zimmer. Welcher Teil leuchtet nach? — 4. Man versetze einen Teil einer fluoreszierenden Flüssigkeit, z. B. das eben benutzte Chininsulfat, mit Gelatine und trockne ein. Man beleuchte die Flüssigkeit und die feste Substanz. In welchem Falle zeigt sich Nachleuchten?

Fig. 72.

49. Wärmewirkung der Lichtstrahlen. Infrarote Strahlen. 1. Man stelle sich ein für Wärmewirkungen empfindliches Salz her, indem man ein Quecksilbersalz, z. B. Quecksilberchlorid, im Überschuß mit Kaliumjodid und Silbernitrat mengt; man erhält einen orangegelben Niederschlag ein Doppelsalz von Quecksilberjodid und Silberjodid, welches bei Erwärmung auf 45^0 rot wird.

Man entwerfe durch Prisma und Linse aus Steinsalz oder Flußspat ein Sonnenspektrum und bringe mit dem Doppelsalz bestrichene Blätter vor die einzelnen Teile des Spektrums, mit dem Infrarot beginnend (Fig. 73). Für welche Strahlen ändert das Salz seine Farbe? Welche Erscheinung erhält man, wenn man über das Gebiet des Rot hinausgeht?

2. Man führe ein Radiometer am Spektrum vorüber und beobachte sein Verhalten, wenn es noch weit von dem Gebiet der roten Strahlen entfernt ist.

3. Man führe ebenso ein sehr empfindliches Thermometer oder ein Bolometer oder eine schmale Thermosäule am Spektrum vorüber und zeichne eine Kurve, welche die Angaben des Meßinstrumentes

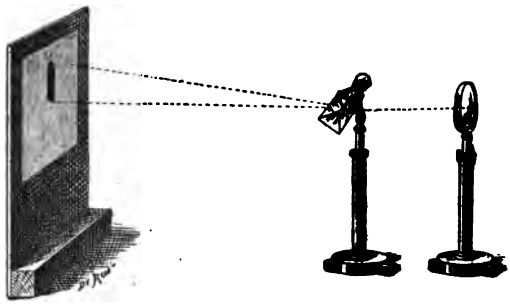


Fig. 78.

als Ordinaten, seine Stellung im Spektrum — auch im Gebiet der infraroten Strahlen — als Abszissen enthält.

4. Man lenke durch ein zweites Prisma die roten und infraroten Strahlen ab, vereinige diese und die übrigen Strahlen durch je eine Linse und untersuche die verschiedenen Wärmewirkungen.

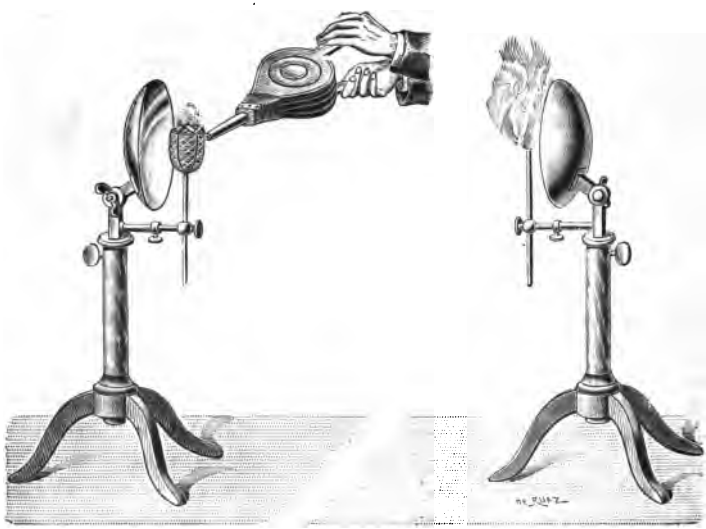


Fig. 74.

Reflexion. 1. In den Brennpunkt eines versilberten Hohlspiegels oder Metallspiegels bringe man mittels eines aus Draht hergestellten Korbes (Fig. 74) glühende Kohlen oder eine durch einen mit Knallgas gespeisten Brenner zur Weißglut gebrachte Magnesiakugel oder auch das elektrische Bogenlicht. Im Brennpunkt

eines zweiten je nach der Stärke der Lichtquelle verschieden weit entfernten Hohlspiegels bringe man durch die reflektierten Strahlen ein Streichholz oder ein Stückchen Schießbaumwolle zum Entzünden.

2. Man benutze als Lichtquelle ein in einer Bunsenflamme bis zur Rotglut erhitztes Stück Blech. Man befestige das eine rechtwinklig umgebogene Ende auf einer Unterlage und biege das andere Ende unter einem spitzen Winkel um (Fig. 75), so daß dieses Ende

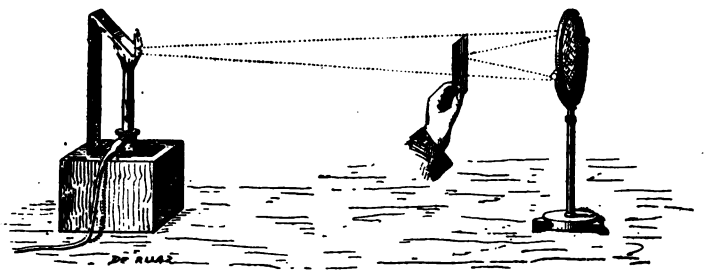


Fig. 75.

von der Flamme erhitzt wird. Dieser Flamme gegenüber setze man einen Hohlspiegel aus Metall. Man halte das vorher benutzte Doppelsalz in den Brennpunkt und beobachte seine Farbe.

Brechung. Man lasse das Sonnenlicht auf eine mit Wasser gefüllte Glaskugel fallen und bringe ein in den Brennpunkt der

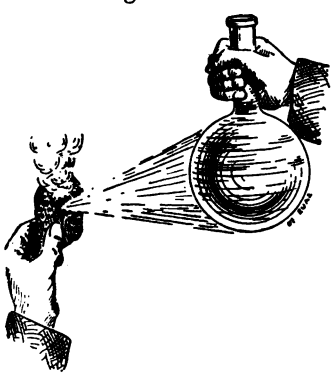


Fig. 76.

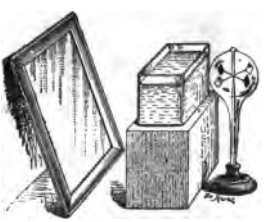


Fig. 77.

Kugel gehaltenes Stück Schießbaumwolle oder Zunder zur Entzündung (Fig 76).

Absorption. 1. Man wiederhole den zweiten Versuch über Reflexion, indem man einmal eine Steinsalz-, dann eine Glasplatte in den Weg der reflektierten Strahlen hält. Wie verhält sich das Jodsalz? — 2. Man halte vor ein Sonnenspektrum eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff und beobachte das Spektrum. Man fülle eine Glaskugel mit dieser Flüssigkeit, lasse auf die Kugel Sonnen-

licht auffallen und bringe in den Brennpunkt ein Stückchen Schießbaumwolle. Welche Strahlen werden von der Lösung absorbiert, welche werden durchgelassen? Man wiederhole beide Versuche mit einer Alaunlösung. — 3. Man lasse die von einem Spiegel reflektierten Sonnenstrahlen durch ein mit der zuletzt benutzten Jodlösung gefülltes Glasgefäß gehen. Wie verhält sich ein vor diesem stehendes Radiometer (Fig. 77).

Man wiederhole die in I, 222 angestellten Versuche.

50. Photographische Wirkung der Lichtstrahlen. 1. Man fülle bei schwacher Beleuchtung des Zimmers durch Tages- oder Lampenlicht ein Reagenzglas zur Hälfte mit Chlor, indem man es, mit warmem Wasser gefüllt, mit nach unten gerichteter Öffnung in ein Gefäß mit warmem Wasser stellt und dann die aus dem Gasentwickelungsapparate kommende Röhre in das Reagenzglas einführt. Man fülle weiter mit Wasserstoff, bis daß alles Wasser aus der Röhre verdrängt ist, schließe das Reagenzglas durch eine Glasplatte und bringe es in derselben Stellung in eine Seifenlösung, so daß, wenn man die Glasplatte fortzieht, das Reagenzglas durch ein Seifenhäutchen verschlossen wird.

Man bringe das Gasgemenge zur Explosion, indem man direktes Sonnenlicht auffallen läßt. Man wiederhole den Versuch, indem man

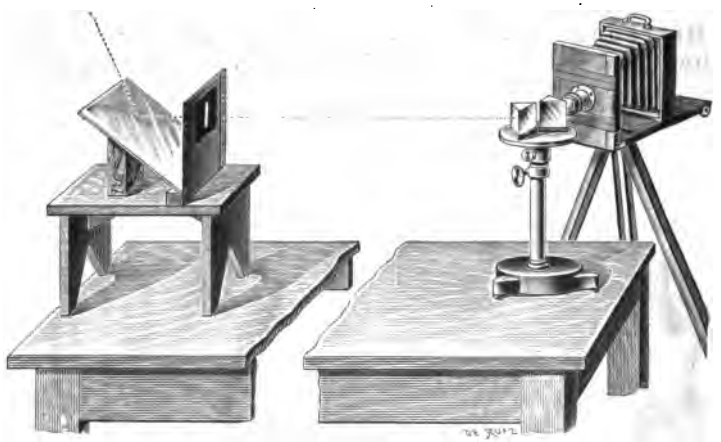


Fig. 78.

vor die auffallenden Sonnenstrahlen verschiedenfarbige Gläser hält. Welche Lichtstrahlen sind demnach die chemisch wirksamen?

2. Man setze Chlorsilberlichtpauspapier dem Tageslicht oder dem direkten Sonnenlicht aus und beobachte die je nach der Stärke des Lichtes schneller oder langsamer eintretende Farbenänderung. Man bedecke ein Stück des Papieres teilweise durch einen undurchsichtigen Körper, durch gelbes oder blaues Glas und beobachte die verschiedenen Wirkungen.

3. Man halte Stücke des Chlorsilberpapieres vor die verschiedenen Teile des Sonnenspektrums, sowie auch über den sichtbaren blauen Teil hinaus. — Verfügt man über einen photographischen Apparat, so photographiere man das Sonnenspektrum. Man benutze aber nicht das direkte Sonnenlicht, sondern werfe das gewöhnliche Tageslicht mit Hilfe eines Spiegels durch eine Glasplatte, welche mit schwarzem, einen 2 mm breiten Spalt besitzendem Papier beklebt ist (Fig. 78). Man bringe den photographischen Apparat etwa 2 m vor diesen Spalt und stelle auf ihn ein. Dann setze man vor das Objektiv das Prisma.

Man vergleiche die im Photogramm auftretenden Fraunhoferschen Linien mit den in Nr. 44 gefundenen.

---

51. Interferenz. Farben dünner Blättchen. 1. Man träufle einige Tropfen Petroleum oder Terpentinöl auf Wasser und beobachte das prachtvolle Farbenspiel des durch die Ausbreitung der Tropfen entstehenden dünnen Häutchens. — 2. Man beobachte das Farbenspiel an einem vertikal gehaltenen Seifenhäutchen, das man in einem Drahtrahmen erzeugt hat (Fig. 79). In welcher Lage erscheinen die verschiedenen Streifen? Man beobachte durch ein Taschenspektroskop den in einem und demselben Punkt des Häutchens durch die beim Abfließen entstehende Veränderung der Dicke des Blättchens sich zeigenden Farbenwechsel. — 3. Man lege eine Sammellinse von etwa 4 m Brennweite auf eine Spiegelglasplatte, welche auf der Rückseite schwarz

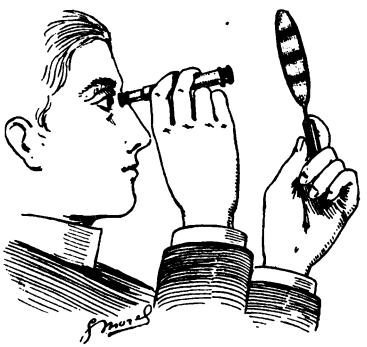


Fig. 79.

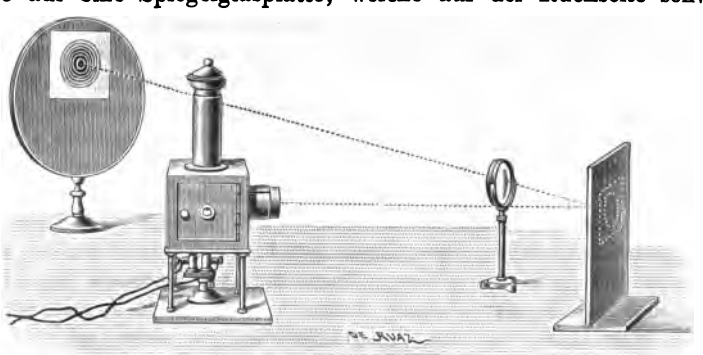


Fig. 80.

lackiert ist, und sehe bei einfarbiger Beleuchtung auf die Linse, wobei man diese etwas gegen das Glas anpreßt. Man kann auch

Glasplatte und Linse auf einer vertikalen Wand befestigen (Fig. 80), mit farbigem Licht beleuchten und durch eine vor die Wand gestellte Sammellinse die Erscheinung auf einem Schirm auffangen. Man wiederhole den Versuch für andere Lichtfarben und vergleiche die verschiedenen Entfernungen der dunklen Ringe vom Zentrum. Dann beleuchte man mit weißem Licht und beobachte die einzelnen ringförmigen Spektren. — 4. Man lege zwei unbelegte Spiegelglasplatten aufeinander und sehe von oben auf die Platten gegen einen dunklen Hintergrund, übe auf diese Platten einen leichten Druck aus und beachte die dadurch entstehende Veränderung der Kurven. Welche Gestalt nehmen diese Kurven an, wenn man zwischen beide Platten längs eines Randes einen schmalen Stanniolstreifen legt, so daß die Platten einen kleinen Flächenwinkel miteinander bilden? — 5. Man lege zwei Glasplatten aufeinander, die so schwach versilbert oder platiniert sind, daß sie doch noch durchsichtig bleiben, beleuchte auf der Rückseite mit homogenem oder weißem Licht (Fig. 81) und beobachte von der Vorderseite den Wechsel der dunklen und hellen bezw. farbigen Ringe. Man erkennt diese wenig leuchtenden Ringe deutlicher, wenn man sie durch eine Linse betrachtet, wobei man am besten das Auge an den Ort des Bildes der Flamme hält.

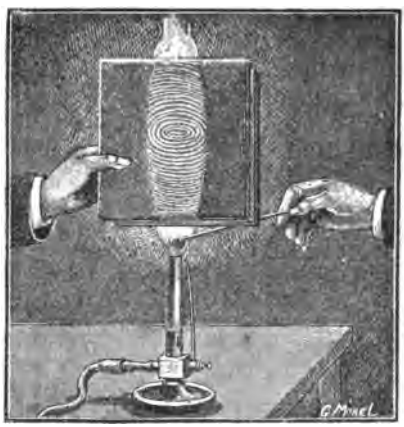


Fig. 81.

52. Interferenz. Fresnelscher Spiegelversuch. Man schneide eine 10 cm lange und 5 cm breite versilberte Spiegelglasplatte mit Hilfe eines Diamanten in zwei gleiche Teile, bringe auf eine etwas größere Spiegelglasplatte an verschiedenen Stellen weiches Wachs und lege auf dieses die beiden Teile, sie mit der Schnittkante wieder genau aneinander passend; durch eine dritte Scheibe, die man nachher wieder entfernt, drücke man beide Teile gleichzeitig fest auf. Man gebe durch einen leichten Druck auf die obere Scheibe gerade oberhalb der Schnittkante beiden Spiegeln einen kleinen Neigungswinkel, fühle aber nachher mit dem Finger längs der gemeinsamen Schnittlinie nach, daß keine der beiden Kanten auch noch so wenig vorsteht. Man setze vor eine Gasglühlichtflamme einen nur 0,5 mm breiten, vertikalen Spalt, den man in ein auf Glas geleimtes Blatt Stanniol geschnitten hat, bedecke den Spalt durch ein rotes Glas und stelle die Spiegel in einer Entfernung von mindestens 1 m mit vertikaler Schnittkante so auf, daß das Licht fast streifend auffällt

(Fig. 82). Alles übrige Licht blende man ab. Man erhält zwei dicht nebeneinander liegende Bilder.

Man sehe nach ihnen durch eine starke Lupe, etwa das Okular eines Mikroskopes; indem man durch einen Gehilfen zuerst den einen,

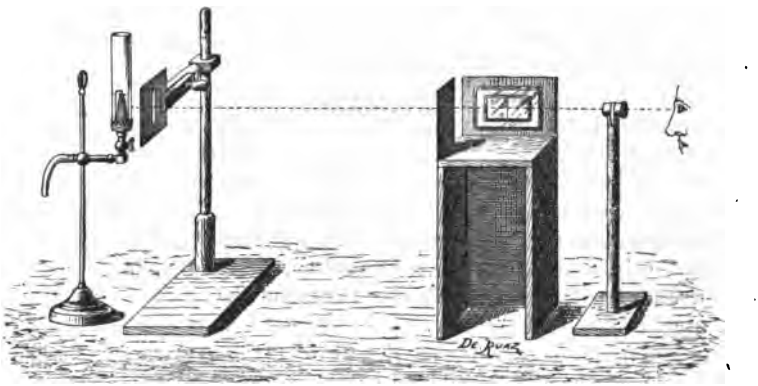


Fig. 82.

dann den andern Spiegel durch ein Blatt Papier abblenden läßt, überzeuge man sich, daß in jedem Falle das Gesichtsfeld gleichmäßig beleuchtet ist. Dann lasse man die von beiden Spiegeln reflektierten Lichtmengen gleichzeitig in das Auge fallen. Welche Erscheinung könnte man hinsichtlich der Helligkeit des Gesichtsfeldes erwarten, und welche beobachtet man? (Fig. 83). Kann man das Sonnenlicht benutzen, so halte man einen weißen Schirm parallel zur Richtung beider Bilder und fange auf ihm die Erscheinung auf.

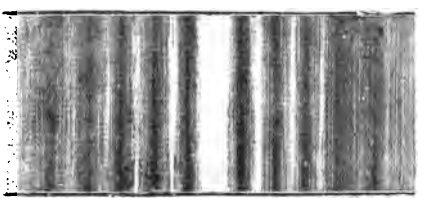


Fig. 83.

Man erinnere sich der in I, 137 angestellten Versuche über Interferenz von Wasserwellen. Die durch die beiden Spiegel entworfenen Bilder können als zwei Punkte aufgefaßt werden, von denen wie dort zwei sich durchkreuzende Wellenzüge ausgehen, die hier durch einen zu ihrer Verbindungslinie parallelen Schirm aufgefangen werden. Dort durfte wegen der Reflexion ein solcher Schirm nicht aufgestellt werden; man denke ihn sich aber und suche die Bewegung, welche die einzelnen Teilchen der Wasseroberfläche an ihm machen würden, aufzuzeichnen. Welche Erscheinung bieten die Schnittpunkte der Hyperbeln mit dem Schirm, welche die dazwischen liegenden Punkte, namentlich der, welcher auf der in der Mitte der Verbindungslinie der beiden Wellenzentren errichteten Senkrechten liegt.

Wie wird sich dementsprechend hier die Mitte des Gesichtsfeldes verhalten, muß hier Verstärkung der Wellenbewegung, d. h. vergrößerte Helligkeit oder Vernichtung der Wellenbewegung, d. h. Dunkelheit eintreten? Welchen Phasenunterschied müssen die im ersten, der Mitte des Gesichtsfeldes zunächstliegenden dunklen Streifen ankommenden Wellen haben, entsprechend der ersten Hyperbel, welchen in den folgenden hellen und dunklen Streifen?

Berechnung der Wellenlänge. Die Differenz der beiden Lichtstrahlen $1A$ und $1B$ (Fig. 84) gibt die halbe Wellenlänge (I, 155), wenn 1 der ersten Hyperbel, dem ersten dunklen Streifen entspricht. Um sie zu berechnen, denke man sich von der Mitte O des Gesichtsfeldes und vom ersten dunklen Streifen (1) Lote (OM und $1C$) auf die Verbindungslinie der beiden Spiegelbilder A und B gefällt und berechne aus den beiden rechtwinkligen Dreiecken, deren gemeinsame Ecke im ersten dunklen Streifen liegt, die Differenz der beiden Lichtstrahlen $1A$ und $1B$ mit Hilfe der Entfernung $AB = d$ der beiden Bilder voneinander, der Entfernungen der Mitte O des Gesichtsfeldes von der Verbindungslinie beider Bilder ($OM = D$) und vom ersten dunklen Streifen ($1O = \delta$). In den in der Rechnung vorkommenden Quadratwurzeln nehme man (2, 4) die Länge D als Faktor vor jede Quadratwurzel und vor den ganzen Ausdruck und vereinfache die Wurzeln, indem man berücksichtigt, daß annäherungsweise $\sqrt{1 + x^2} = 1 + \frac{x^2}{2}$ ist. Wie lautet dann der einfache Ausdruck für die halbe Wellenlänge?

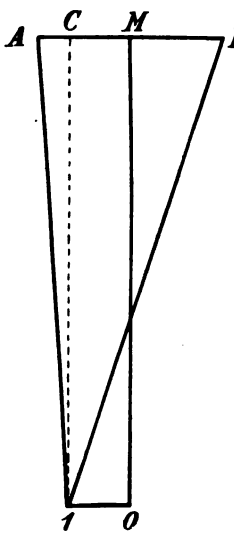


Fig. 84.

Um die in Betracht kommenden Längen zu messen, betrachte man zuerst ohne Lupe die beiden Spiegelbilder, lasse durch einen Gehilfen etwas oberhalb der Schnittkante der Spiegel zwei Kerzen so aufstellen, daß sie genau über den Bildern A und B stehen, und messe die Entfernung dieser beiden Kerzen (13, 2). Dann sehe man wieder durch die Lupe, halte einen Millimetermaßstab aus Glas in horizontaler Richtung zwischen Lupe und Spiegel, so daß man die Teilstriche des Maßstabes auf dem Streifensystem deutlich erkennen kann, und bestimme die Entfernung der beiden rechts und links von der Mitte des Gesichtsfeldes liegenden ersten dunklen Streifen. Schließlich messe man die Entfernung der Mitte des Gesichtsfeldes von der Verbindungslinie der beiden Spiegelbilder.

Man wiederhole den Versuch, indem man den Spalt durch ein grünes bezw. durch ein blaues Glas bedeckt. Für welche der drei Lichtarten liegen die dunklen Streifen am weitesten auseinander?

Müssen die durch weißes Licht entstehenden Streifen abwechselnd hell und dunkel oder farbig erscheinen?

53. Beugung. Man setze vor die Projektionslaterne einen breiten Spalt und verschiebe den Kondensor so, daß ein schwach divergentes Strahlenbündel heraustritt. Durch eine Sammellinse, die um etwa $1^1/_2$ ihrer Brennweite von der Laterne entfernt ist, werfe man das Bild des Spaltes auf einen vertikalen, hinter der Linse stehenden Kantel, indem man die Stellung der Linse so reguliert, daß kein Licht neben dem Kantel vorübergeht. Dann entferne man den Kantel und

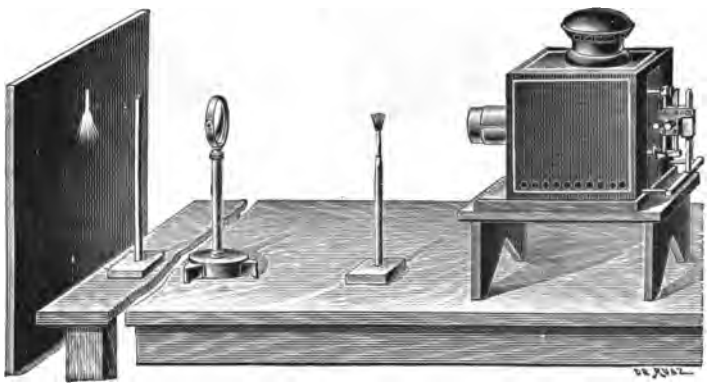


Fig. 85.

stelle zwischen Laterne und Linse vertikal einen Pinsel mit nach oben gerichteten Borsten auf, in einer Entfernung, daß ein scharfes Bild des Pinsels schwarz auf weißem Schirm entsteht. Stellt man jetzt den Kantel wieder in seine alte Lage, so erscheint ein helles Bild des Pinsels auf dunklem Grunde (Fig. 85). Man erinnere sich der über Beugung von Wasserwellen angestellten Versuche (I, 137). Wo liegen in diesem Versuche die Ausgangspunkte neuer Lichtwellenzüge?

54. Interferenz durch Beugung. 1. Man sehe durch einen Schirm, in welchem sich ein feines Loch, bezw. zwei dicht nebeneinander liegende, ineinander übergehende Löcher und ein feiner Spalt befinden, in einer Entfernung von zwei bis drei Metern nach einer Gasglühlichtflamme (Fig. 86), vor welchen eine Glasplatte gestellt ist, auf die man ein mit einem feinen Loch oder einem feinen Spalt versehenes Blatt schwarzes Papier geklebt hat, und beobachte die bei homogenem Licht hell und dunkel, bei weißem Licht verschiedenfarbig erscheinenden Ringe bezw. Streifen (Fig. 87). Man halte an Stelle des Sehspaltes ein Kartenblatt so vor's Auge, daß die Pupille zur Hälfte verdeckt wird, und beobachte, wie das Licht in das eigentliche Schattengebiet übergreift und sich auch hier dunkle und helle, bezw. verschiedenfarbige Linien bilden (Fig. 87 *E*).

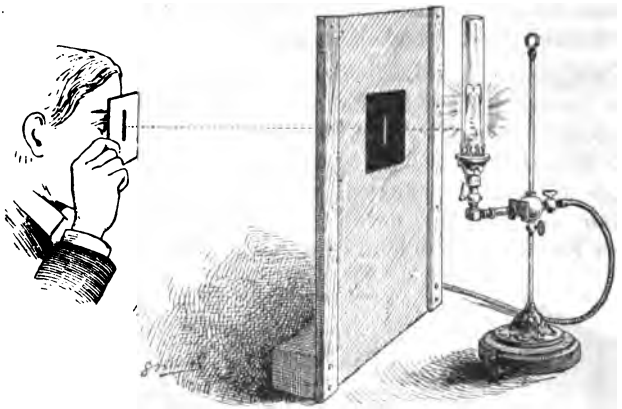


Fig. 86.

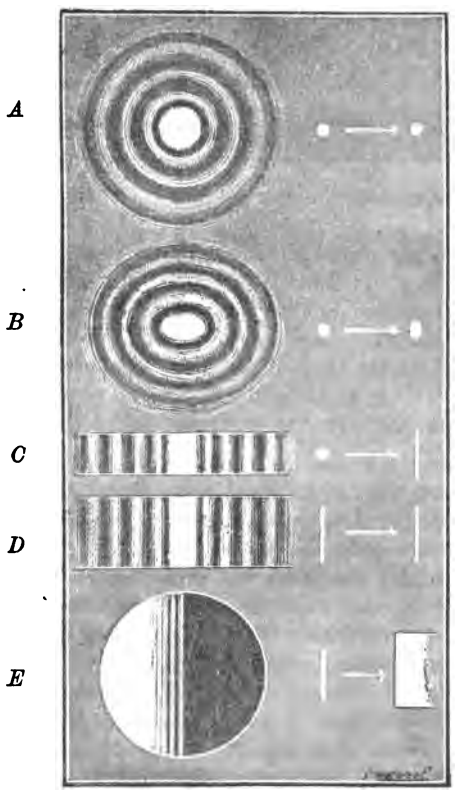


Fig. 87.

Fig. 88.

Man kann auch den kleinen Schirm bezw. das Kartenblatt so an einem Ende eines Rohres befestigen, daß die Schirmöffnung oder der Rand des Kartenblattes gerade in der Mitte der Rohröffnung liegen, und in der andern Öffnung des Rohres mittels eines Korkes das Okular eines Mikroskopes anbringen (Fig. 88). Man richte dieses Rohr auf die Lichtquelle und halte das Auge an die Stelle, wo sich das durch das Okular

entworfene Bild des Spaltes bilden muß, damit das Gesichtsfeld hinreichend groß ist.

2. Man sehe durch zwei dicht nebeneinander liegende Löcher, die man durch sehr feine Nadeln (0,5 mm) in ein Blatt Stanniol gestochen hat, nach einer punktförmigen Lichtquelle und vergleiche die Erscheinung (Fig. 89 *A*) mit der in Fig. 87 *A* abgebildeten. Ferner sehe man durch zwei feine Spalte nach einer spaltförmigen

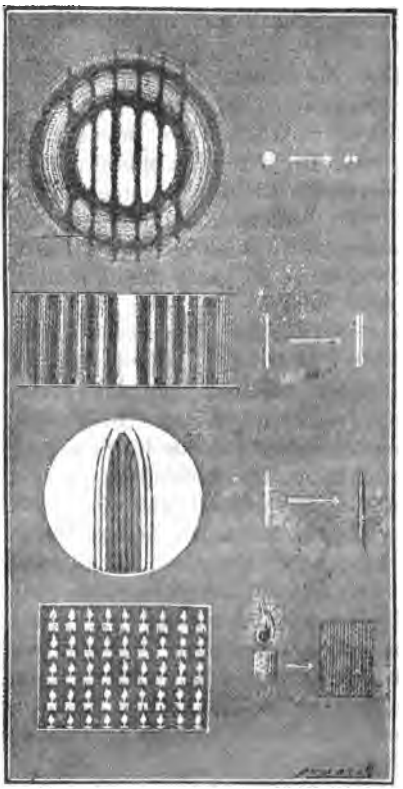


Fig. 89.

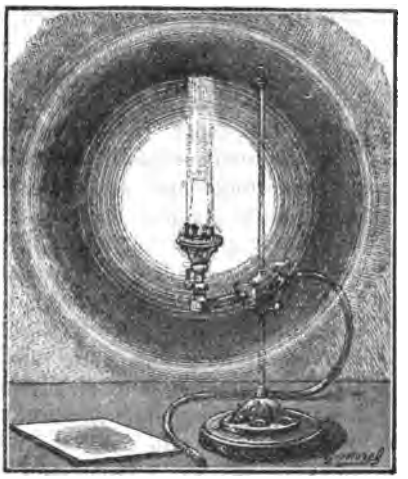


Fig. 90.

Lichtquelle (Fig. 89 *B*). Wie hat sich die in Fig. 87 *D* abgebildete Erscheinung verändert? Man halte einen feinen Faden oder eine feine Nähnadel vor das Auge, sehe nach dem leuchtenden Spalt und beobachte die an den Rändern auftretende Erscheinung (Fig. 89 *C*). Läßt man das Beugungsbild auf einem Schirm entstehen, so kann man es mit Hilfe des Mikroskopokulares betrachten.

Eine schöne Licht- und Farbenerscheinung durch Beugung an einem Gitter erhält man, wenn man durch ein seidenes Gewebe mit blossem Auge oder mittels eines Fernrohres nach einer Kerze blickt (Fig. 89 *D*).

3. Man lasse das Licht einer punktförmigen Lichtquelle auf eine Glasscheibe fallen, die mit einzelnen Lykopodiumsamenkörnchen bestreut ist, beobachte durch das Mikroskopokular und vergleiche die Erscheinung mit der durch eine kreisförmige Öffnung hervor-

gebrachten (Fig. 87 *A*). Sieht man durch dies Glas nach einer starken Lichtquelle, so sieht man einen kreisförmigen Lichtfleck (Fig. 90), umgeben von zahlreichen farbigen Kreisen (Höfe um Sonne und Mond).

55. Berechnung von Wellenlängen. Man lasse die durch einen mit einem roten Glas bedeckten engen Spalt in das verdunkelte Zimmer eintretenden Sonnenstrahlen auf ein Gitter (photographische Kopie eines auf Glas geritzten Gitters) fallen und setze unmittelbar vor dieses eine Sammellinse von 75 cm Brennweite. Auf einem in der Brennebene der letzteren stehenden Schirm aus mattem Glase fange man das Beugungsbild auf.

Um sich zunächst ein Bild über die Entstehung der Erscheinung und über die vorzunehmenden Messungen zu machen, bedenke man, daß jeder Lichtpunkt sämtlicher Spaltöffnungen wieder ein Wellenzentrum bildet, von dem aus sich Lichtstrahlen nicht nur in der ursprünglichen, zur Gitterebene normalen Richtung, sondern nach allen Richtungen fortpflanzen (53). In welchem Punkte werden sämtliche normal zur Gitterebene laufenden Strahlen durch die Linse vereinigt, und mit welchem Phasenunterschied kommen diese Wellen in ihrem Vereinigungspunkt an? Muß also in der Mitte des Beugungsbildes verstärkte Helligkeit oder Dunkelheit herrschen? Man beachte ferner, daß unter allen andern, unter den verschiedensten Beugungswinkeln auf die Linse fallenden Strahlen die aus sämtlichen Spalten kommenden Strahlen, welche denselben Beugungswinkel haben, also parallel laufen, in demselben Punkte des Schirmes vereinigt werden. Welchen Einfluß hat der Unterschied der Richtung solcher Strahlengruppen gegen die der normal auf die Linse fallenden Strahlen auf die Entfernung der verschiedenen Vereinigungspunkte von der Schirmmitte. Für jede dieser Gruppen, für welche der Beugungswinkel so klein ist, daß die zu zwei benachbarten Spalten gehörigen Strahlen nahe dem Brennpunkt mit einem Phasenunterschied ankommen, der kleiner ist als eine ganze Wellenlänge, also die zu zwei beliebigen Spalten gehörigen mit einem ganzen Vielfachen dieses Wertes eintreffen, muß Vernichtung der Wellenbewegung, d. h. Dunkelheit eintreten. Alle diese Gruppen zusammen geben den ersten breiten, dunklen Streifen.

Für die nächste Gruppe paralleler Strahlen, für welche der Beugungswinkel gerade so groß ist, daß sie bei ihrer Vereinigung hinter der Linse auf dem Schirm einen Phasenunterschied von einer ganzen Wellenlänge haben, muß Verstärkung der Wellenbewegung, d. h. Helligkeit eintreten. Diese eine Gruppe gibt den nächsten schmalen, hellen Streifen.

Welchen Phasenunterschied müssen die parallelen Strahlen derjenigen Gruppe bei ihrer Vereinigung auf dem Schirme haben, die den nächsten schmalen hellen Streifen gibt? Warum sind die dunklen Streifen breit, die hellen schmal?

Um die Wellenlänge bestimmen zu können, muß man den Abstand d des ersten hellen Streifens vom mittleren Spaltbild und den

dieses Spaltbildes von der Linse, die Brennweite f, kennen. Das Verhältnis beider gibt die trigonometrische Tangente des Beugungswinkels φ $\left(\operatorname{tg}\varphi = \frac{d}{f}\right)$. Andererseits ist $\lambda = e \sin\varphi$, wenn λ (Fig. 91) die Wellenlänge und e die Entfernung zweier Nachbarspalte, die Gitterkonstante, bedeuten. Da die Beugungswinkel so klein sind, daß sin für tg gesetzt werden darf, ergibt sich die Wellenlänge $\lambda = \frac{ed}{f}$.

Um den Abstand der hellen Streifen vom mittleren Spaltbild zu messen, markiere man die Lage der hellen Linien auf dem Schirm und messe nach Schluß des Versuches die Entfernungen mit einem Maßstab. Um die Gitterkonstante zu messen, halte man neben das Gitter die Millimeterskala und visiere durch eine Lupe und bestimme so die Breite mehrerer Spalte nebst Zwischenraum und daraus die Konstante. Man kann auch Millimeterskala und Gitter gleichzeitig durch einen Projektionsapparat auf einen Schirm projizieren.

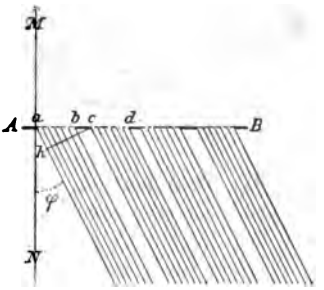


Fig. 91.

Will man das Gitterspektrum mit Hilfe eines Spektrometers beobachten, so bringe man das Gitter an die Stelle des Prismas und stelle es senkrecht zum Fernrohr, indem man sein Objektiv von der Seite beleuchtet und das von der Gitterplatte reflektierte Spiegelbild des Objektives aufsucht.

Man messe die Wellenlänge auch für blaues und grünes Licht. Man beachte dabei die verschiedene Entfernung der hellen Linien vom mittleren Spaltbild. Dann benutze man weißes Licht und beobachte, wie sich die verschiedenen farbigen Strahlen nebeneinander legen und so mehrere Beugungsspektra geben. Man vergleiche dieses Spektrum mit dem durch ein Prisma entworfenen (Fig. 58). In welchem sind die Farben ausschließlich nach ihrer Wellenlänge geordnet, unabhängig vom Stoff des Glases?

Man bestimme für einige Emissionsspektren, z. B. diejenigen vom Natrium, Kalium usw., die Wellenlänge der einzelnen hellen Linien.

56. Polarisierte Seilwellen. Man verfertige zwei gleichgroße, auf zwei gegenüberliegenden Seiten offene Kästchen, bringe in jedem zwei Brettchen parallel einer Fläche des Kästchens so an, daß zwischen ihnen ein Spalt bleibt (Fig. 92), der so breit ist, daß ein Kautschukschlauch gerade hindurchgeht, und stelle sie beide auf etwa die Hälfte des Schlauches voneinander entfernt auf. Man erzeuge an dem einen Ende des Schlauches irgendeine transversale, z. B. kreisförmige, Welle und beobachte ihren Verlauf, einmal, wenn die beiden Spalte gekreuzt, dann, wenn sie parallel sind. Welchen Einfluß hat der erste Spalt (Polarisator) auf die Schwingungen des

Schlauches zwischen beiden Kästen? Bei welcher Stellung der Spalte geht die Welle hinter dem zweiten Spalt (Analysator) weiter, bei welcher nicht?

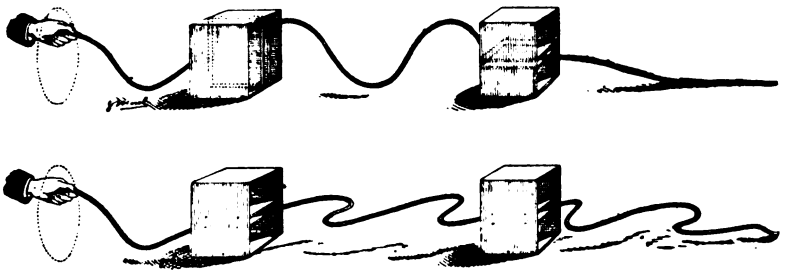


Fig. 92.

57. Polarisation. 1. Durch Reflexion. Man befestige zwei Platten aus schwarzem Glase oder aus unbelegtem Spiegelglase, das man auf der Rückseite durch eine Mischung von Lampenruß, Terpentin und etwas Lack geschwärzt hat, auf der Hypotenusenfläche je eines keilförmigen Holzklötzchens, dessen Längsschnitt ein rechtwinkliges Dreieck mit dem Kathetenverhältnis 2 : 3 darstellt (Fig. 93). Den

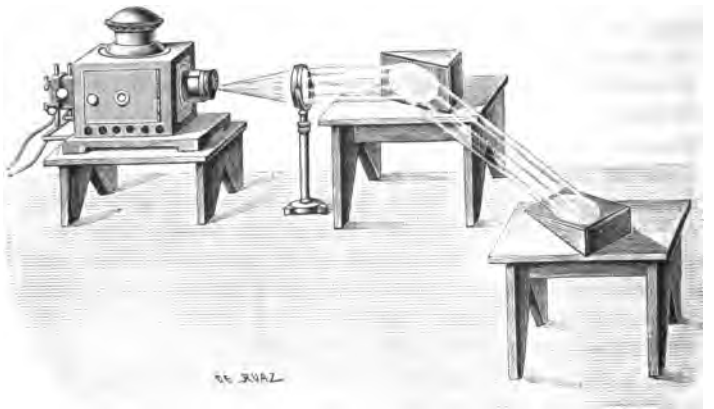


Fig. 93.

einen Spiegel stelle man vertikal, den andern so, daß die größere Kathetenfläche horizontal steht. Man fange das durch ein kreisrundes Loch kommende Licht durch eine um ihren Brennpunkt von dem Loch entfernt stehende Sammellinse auf und lasse das aus der Linse austretende zylindrische Strahlenbündel unter beliebigen Einfallswinkeln auf den vertikal gestellten Spiegel und nach erfolgter Reflexion auf den zweiten Spiegel fallen. Man betrachte das Bild der kreisrunden Öffnung im zweiten Spiegel. Welche Erscheinung beobachtet man, wenn man die Einfallswinkel des ersten

Spiegels ändert? Man suche die Stellung beider Spiegel, für welche diese Erscheinung am auffälligsten ist. Unter welchem Winkel (Polarisationswinkel) fallen die Lichtstrahlen auf jeden der beiden Spiegel? Wie liegen die vom einfallenden und reflektierten Strahl und dem Einfallslot gebildeten Reflexionsebenen (Polarisationsebenen) beider Spiegel zueinander. Man lasse die Stellung des ersten Spiegels unverändert, drehe den zweiten um den einfallenden Strahl als Achse, so daß der Einfallswinkel unverändert bleibt, und beobachte die dadurch eintretende Änderung der Erscheinung. Wie stehen die beiden Reflexionsebenen zueinander, wenn diese Änderung am größesten geworden ist? Man vergleiche die Versuche mit den in Nr. 56 angestellten.

2. Durch Brechung. Man halte zwischen die Linse und den ersten Spiegel eine Glasplatte und untersuche, ob das durchgelassene Licht polarisiert ist, insbesondere, ob es vollständig polarisiert ist, wenn die Glasplatte das Licht unter dem Polarisationswinkel empfangen hat.

Man bringe an die Stelle der Glasplatte einen Satz von zwei bis zehn Glasplatten, lasse auf ihn das Licht unter dem Polarisationswinkel fallen und untersuche, ob noch unpolarisiertes Licht durchgelassen worden ist.

58. Doppelbrechung. 1. Man lege ein Kalkspatrhomboeder auf eine Schrift (Fig 94); welche Erscheinung beobachtet man?

Verfügt man nicht über ein Kalkspatrhomboeder, so stelle man sich Kristalle von salpetersaurem Natrium durch Verdampfen aus der gesättigten Lösung her; da sie leicht zerfließen, überziehe man sie mit einem Lack, den man durch Auflösen von Schellack in angewärmtem Alkohol erhält.

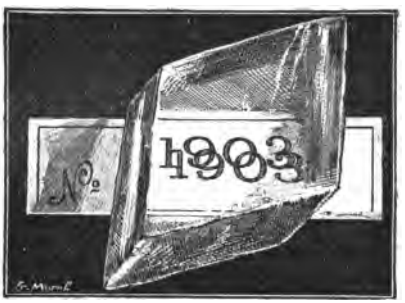


Fig. 94.

2. Man zeichne auf ein Blatt weißes Papier einen schwarzen Punkt, lege auf das Papier das Kalkspatrhomboeder und vergleiche bei senkrechtem Durchsehen die Lage beider Bilder mit der Lage des Bildes, das man bei Anwendung einer planparallelen Glasplatte erhält. Man drehe den Kristall um eine vertikale Achse. Welches Bild behält seine Lage unverändert bei? Wie bewegt sich das andere Bild in bezug auf das erstere? Welches Bild kommt auf Grund des gewöhnlichen Brechungsgesetzes zustande (ordentlicher Strahl), welches nicht (ausserordentlicher Strahl)? Welches Bild scheint höher zu liegen; welcher Strahl hat also das größere Brechungsverhältnis?

Man bedecke eine Fläche eines Kalkspatrhomboeders mit Stanniol, durch welches man ein Loch gebohrt hat. Durch dieses lasse man einen Lichtstrahl durch das Rhomboeder gehen und unter-

suche ihn im sonst verdunkelten Zimmer mit Hilfe von Rauc
Was geschieht, wenn man das Rhomboeder um eine dem auffallend
Lichtstrahl parallele Achse dreht?

3. Man halte das Rhomboeder bei der in Nr. 57 benutzt
Versuchsanordnung in den Weg der parallel aus der Linse au
tretenden Strahlen. Man entferne den zweiten Spiegel und unte
suche die beiden aus dem Rhomboeder kommenden Lichtbündel a
Polarisation, indem man durch Drehung des Rhomboeders erst d
eine, dann das andere Spiegelbild zum Verschwinden bringt. W
liegen die beiden Polarisationsebenen zueinander?

59. Polarisationsapparate. Nörrembergs Polarisation
apparat. Am unteren Ende eines etwa 30 cm langen, vertikal z
stellenden Brettes befestige man, um ihn
Standfestigkeit zu geben, ein breiteres
am oberen Ende und in der Mitte je ein
kleineres Brett; das mittlere versehe ma
in der Mitte mit einem kreisrunden Loch
(Fig. 95). Am unteren und oberen Brett
bringe man mittels vertikal gestellter
Nägel zwei Korke so an, daß sie mit
dem Loch des Mittelbrettes in einer Rich-
tung liegen und sich um die Nägel als
Achse drehen können. Man schräge jeden
Kork unter einem Winkel von 33,5 Grad
ab und befestige auf dieser schrägen Fläch
mittels Klebewachs einen auf der Rück
seite geschwärzten Spiegel. Vor den
unteren Spiegel lege man horizontal
einen anderen, so daß das auf diesen
auffallende Licht nach Reflexion an
sämtlichen drei Spiegeln in das vor den oberen gestellte Auge des
Beobachters gelangen kann.

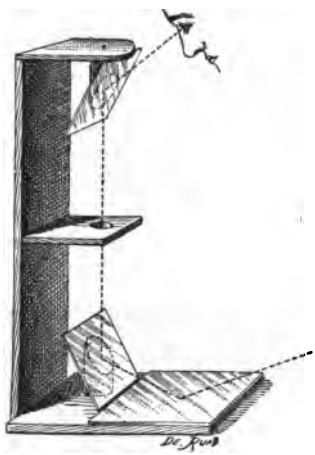


Fig. 95.

Man wiederhole den in 58, 2 angestellten Versuch, indem man
das Kalkspatrhomboeder auf die Öffnung des mittleren Brettes legt
und durch Drehung des Rhomboeders zuerst das eine, dann das andere
Bild zum Verschwinden bringt. Müssen die Polarisationsebenen der
beiden Spiegel gekreuzt oder parallel stehen?

Geradsichtiger Analysator. Man stelle zwei auf der Rück-
seite geschwärzte Spiegel vertikal und parallel einander gegenüber,
so daß ihre horizontalen Kanten ein Parallelogramm bilden, dessen
spitzer Winkel 33,5° beträgt (Fig. 96).

Man lasse auf diesen Apparat unter dem Polarisationswinkel
das von einer Glasplatte reflektierte Licht fallen und untersuche,
ob vollständige Polarisation eingetreten ist, wenn auch diese Glasplatte
das Licht unter dem Polarisationswinkel empfangen hat.

Nicolsche Prismen. Man schleife an Stelle der natürlichen
Endflächen eines länglichen Kalkspatrhomboeders $ABCD$, $A'B'C'D'$

(Fig. 97), welche mit den stumpfen Seitenkanten einen Winkel $A'BD$ von 71^0 bilden, neue Endflächen an, für welche dieser Winkel 68^0 beträgt, säge den Spat in einer zu den neuen Flächen (PP,

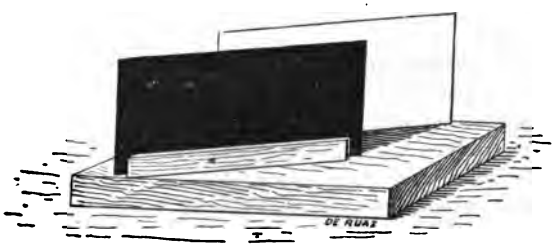


Fig. 96.

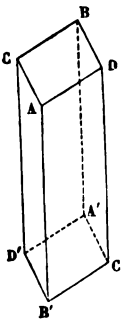


Fig. 97.

Fig 98) senkrechten Richtung (HH) durch, poliere die Schnittflächen und klebe sie wieder mit Kanadabalsam zusammen. Trifft ein natürlicher Lichtstrahl ab auf die Vorderfläche PP, so erfährt der eine Strahl bc Totalreflexion, der andere bd geht durch und kommt als polarisierter Strahl def heraus. In der üblichen Fassung (Fig. 99) erkennt man die neu angeschliffene Endfläche; die Pfeilrichtung gibt die Polarisationsebene.

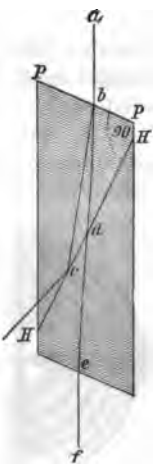


Fig. 98.

Man halte ein Nicolsches Prisma an Stelle des natürlichen Spates auf eine Schrift (vergl. Fig. 94). Ist der ordentliche oder der außerordentliche Strahl durchgegangen? Man sehe durch zwei Nicolsche Prismen gegen das Licht. Müssen sie gekreuzt oder parallel gestellt sein, wenn im Gesichtsfeld Dunkelheit herrschen soll?

Die Turmalinzange. Auch der Turmalin gehört zu den doppeltbrechenden Kristallen. Da aber diese Kristalle bei genügender Dicke den ordentlichen Strahl vernichten, so kann eine einzige, parallel zur Achse geschliffene Platte als Polarisator oder Analysator dienen.

In der Turmalinzange (Fig. 100) sind zwei Turmalinplatten mittels Korkscheiben drehbar in Drahtringe gefaßt; durch einen mehr-

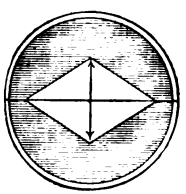


Fig. 99.

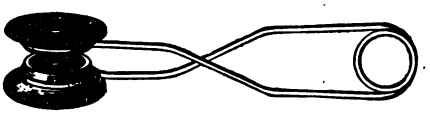


Fig. 100.

fach gebogenen, federnden Draht werden sie gegeneinander gedrückt, so daß ein zwischen sie gelegter Gegenstand wie von einer Zange festgehalten wird.

Man untersuche das natürliche Kalkspatrhomboeder (58) mittels der Turmalinzange, indem man den Spat zwischen die Zange bringt. Wie müssen die beiden Turmalinplatten vor Beginn des Versuches zueinander gestellt werden?

60. Drehung der Polarisationsebene. 1. Man bringe in einen der Polarisationsapparate zwischen Polarisator und Analysator, nachdem man bei roter Beleuchtung auf Dunkelheit eingestellt hat, eine senkrecht zur Achse geschliffene Quarzplatte. Das Gesichtsfeld wird aufgehellt. Dann drehe man den Analysator, bis das Gesichtsfeld wieder dunkel wird. Man wiederhole diesen Versuch für gelbes und violettes Licht und vergleiche die verschiedenen Drehungswinkel miteinander. Dann beleuchte man mit weißem Licht und beobachte

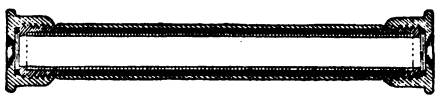


Fig. 101.

den bei Drehung des Analysators auftretenden Farbenwechsel. Um wieviel muß der Analysator gedreht werden, bis dieselbe Farbenfolge wiederkehrt?

2. Man fülle eine Glasröhre, die auf beiden Seiten durch eine Glasplatte verschlossen werden kann (Fig. 101), mit einer Zuckerlösung, deren Gehalt an Zucker bekannt ist, bringe die Röhre zwischen Polarisator und Analysator und bestimme den Winkel, um den die Polarisatorebene gedreht wird. Man wiederhole den Versuch für verschiedene Zuckerlösungen und zeichne die Kurve, welche den Drehungswinkel als Funktion des Gehaltes an Zucker darstellt. Mit Hilfe dieser Kurve bestimme man den Zuckergehalt einer beliebigen Zuckerlösung.

Fig. 102.

61. Interferenz von polarisiertem Licht. Man bringe in dem Nörrembergschen Polarisationsapparat ober- und unterhalb des Mittelbrettchens je eine Linse von kurzer Brennweite so an, daß die Brennpunkte beider Linsen in einen nahe über der Öffnung des mittleren Brettes gelegenen Punkt zu liegen kommen. Man lege auf die Öffnung einen senkrecht zur Hauptachse geschliffenen Kalkspatkristall und beobachte die Interferenzerscheinung, je nachdem die Polarisationsebenen des Polarisators und Analysators zueinander senkrecht oder parallel laufen (Fig. 102).

Man erhitze eine quadratförmige Glasplatte stark und kühle sie dann rasch ab. Man bringe die Platte in den Nörrembergschen

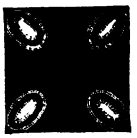


Fig. 103.

Fig. 104.

Apparat und beobachte die durch dieses Glas hervorgerufene Farbenerscheinung (Fig. 103).

Ebenso untersuche man eine dicke quadratische Glasplatte, die in einem Schraubstock zusammengepreßt ist (Fig. 104).

---

62. Akkommodation des Auges. 1. Man schließe ein Auge, bringe vor das andere im Abstand von etwa 15 cm ein weitmaschiges Drahtnetz, dahinter im Abstand von etwa 30 cm ein Buch und fixiere einmal das Drahtnetz, dann die Buchstaben. Welchen Eindruck macht der nicht fixierte Gegenstand? — 2. Man ahme die Akkommodationsfähigkeit des Auges nach, indem man durch eine Sammellinse ein verkleinertes, scharfes Bild einer Kerze auf einen Schirm wirft und dann die Kerze vor- bezw. zurückschiebt. In welchem Falle muß die Linse durch eine andere von kleinerer, in welchem von größerer Brennweite ersetzt werden, damit das Bild wieder in voller Schärfe auf dem Schirm erscheint. — 3. Man ahme das kurz- und das übersichtige Auge nach, indem man in dem vorigen Versuch nicht die Kerze, sondern den Schirm vor- bezw. zurückschiebt. Was für eine Linse muß vor die andere gesetzt werden, damit das Bild wieder auf dem Schirm erscheint? — 4. Man befestige das eine Ende eines weißen Fadens vor einem schwarzen Hintergrunde in Höhe des Auges, lege das andere Ende an das untere Augenlid und sehe mit diesem Auge, das man durch passende Brillen normal-, kurz- oder übersichtig gemacht hat, während man das andere Auge schließt, am gespannten Faden entlang. Man bestimme den Nahpunkt (a, Fig. 105 A), bis zu welchem der Faden noch deutlich erscheint. Für welches Auge gibt es auch einen Fernpunkt (a'), über welchen hinaus der Faden nicht mehr deutlich gesehen wird? Für weitsichtige Augen, welche nicht für

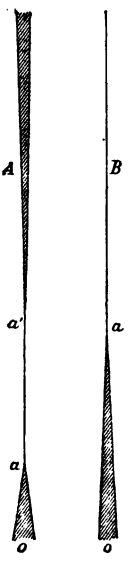


Fig. 105.

nahe gelegene Gegenstände akkommodieren können, liegt der Nah punkt (*a*, Fig. 105 *B*) weiter vom Auge entfernt.

63. Blinder Fleck. Auf einem senkrecht gestellten Spieg befestige man, etwa mittels Oblaten, ein Blatt weißes Papier, a welchem sich an dem einen vertikal Rande ein mit Tinte markierter Punk und etwa 8 cm links von diesem in de selben Horizontalen eine schwarze Krei fläche von 1 cm Durchmesser befinde (Fig. 106). Man schließe, wenn d Punkt sich rechts vom Kreise befinde das rechte Auge und stelle sich so v den Spiegel, daß man, um sein Spiege bild zu erkennen, mit dem linken Aug gerade an dem auf dem Papier ange brachten Punkt vorbei visiert. Dan entferne man sich vorsichtig vom Spiegel indem man immer in derselben Richtun sieht, aber doch die Absicht behält, den schwarzen Kreis zu sehen, ohne ihn zu beobachten. In welcher Entfernung des Auges vom Spiegel ver schwindet der schwarze Kreis?

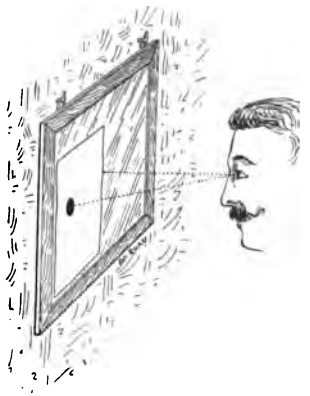


Fig. 106.

Man zeichne auf schwarzem Grunde ein kleines weißes Kreuz und einen großen weißen Kreis (Fig. 107), fixiere, wenn der Kre

Fig. 107.

sich rechts vom Kreuz befindet, bei geschlossenem linken Auge mit dem rechten das Kreuz, bis es gelingt, den Kreis zum Verschwinden zu bringen.

64. Astigmatismus. Man schließe ein Auge und sehe mit dem andern, dessen etwaige Kurz- oder Übersichtigkeit man durch eine passende Brille aufgehoben hat, in einer Entfernung von etwa fünf Metern nach einem vertikal stehenden Blatt weißes Papier, auf welchem ein Kreis von ungefähr 30 cm Durchmesser mit zwölf gleich weit voneinander entfernten, in Form von 4 mm dicken schwarzen

Linien hervortretenden Radien gezeichnet ist (Fig. 108). Man stelle den Radius fest, welcher am deutlichsten gesehen wird. Dann setze man zwischen Linse und Schirm eine Zylinderlinse, deren Seitenlinie senkrecht zu dem deutlich gesehenen Radius liegt. Wie ändert sich dadurch die Deutlichkeit dieses Radius und aller andern? Welcher andere Radius wird jetzt besonders deutlich oder undeutlich gesehen, und wie liegt er zu dem scharf gesehenen? Man probiere nun eine konvergente oder divergente zylindrische Linse aus, durch welche der Astigmatismus beseitigt wird.

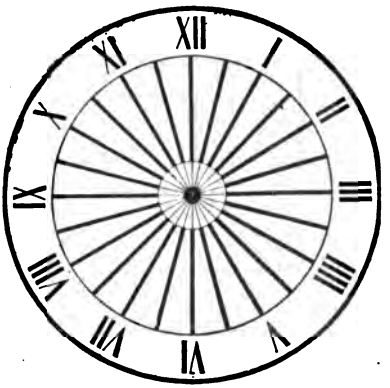


Fig. 108.

Man kann den Fehler des Astigmatismus und seine Beseitigung objektiv darstellen, indem man in dem in Nr. 30, s angestellten Versuche, in welchem die beiden Linsen ein astigmatisches Linsensystem darstellen, zwischen System und Schirm eine divergente zylindrische Linse stellt. In welcher Beziehung muß ihre Brennweite zu der der ersten Zylinderlinse stehen?

65. Das körperliche Sehen. Stereoskop. Man stelle zwei Sammellinsen vertikal nebeneinander so auf, daß man mit je einem Auge durch je eine der Linsen hindurchsehen kann (Fig. 109). Zwischen

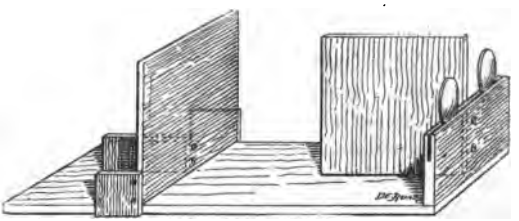


Fig. 109.

die Linsen bringe man eine auf beiden Seiten geschwärzte Scheidewand. Parallel zur Richtung der Linsen stelle man eine Wand auf, auf der man zwei stereoskopische Bilder, z. B. die einer abgestumpften Pyramide (Fig. 110), so nebeneinander befestigt, daß jedes Auge nur eines von ihnen erblickt. Man vertausche die beiden Bilder und beobachte, wie das vorher erhabene Bild jetzt vertieft erscheint (Fig. 111).

Man färbe die einander entsprechenden Teile der Bilder komplementär. Welche Farbe beobachtet man?

Spiegelstereoskop. Man stelle zwei Planspiegel ab, ac (Fig. 112) mit nach außen gerichteten spiegelnden Flächen rechtwinklig

zueinander vertikal auf, stelle seitlich von den Spiegeln (bei *d* und *e*) die für das linke und das rechte Auge bestimmten Zeichnungen

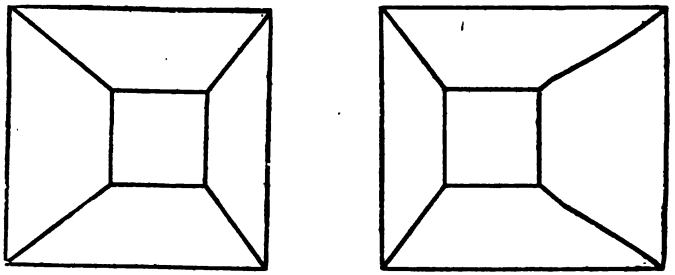


Fig. 110.

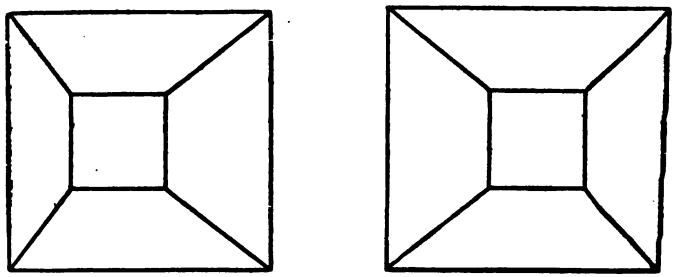


Fig. 111.

eines Gegenstandes auf und sehe mit dem linken Auge *l* in den linken, mit dem rechten Auge *r* in den rechten Spiegel, so daß die von zusammengehörigen Punkten der beiden Zeichnungen ausgehenden Strahlen nach ihrer Reflexion von demselben Punkte *m* zu kommen scheinen und daher auf entsprechende Punkte der Netzhaut fallen.

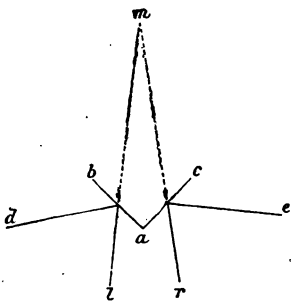


Fig. 112.

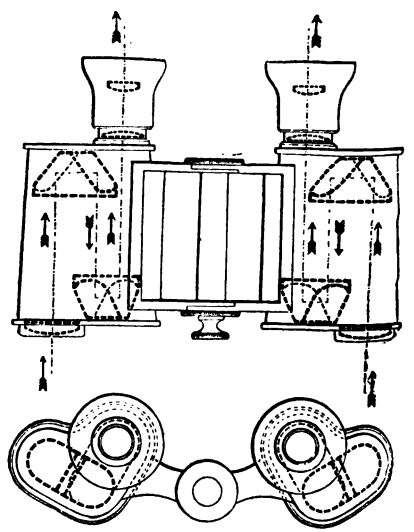


Fig. 113.

Telestereoskop. Man stelle bei *d* und *e* parallel zu den beiden Spiegeln des eben benutzten Spiegelstereoskopes zwei andere Spiegel auf, welche ihre spiegelnden Flächen den ersteren zukehren, und richte den Apparat auf einen entfernten Gegenstand, z. B. eine Landschaft. Welchen Einfluß hat diese Einrichtung auf die Tiefenwahrnehmung?

Wenn man an Stelle der Spiegel totalreflektierende Prismen nimmt und diese mit einem Fernrohr kombiniert, so erhält man das Prismenfernrohr (Fig. 113).

66. Dauer des Lichteindruckes. 1. Man befestige auf der Achse eines Motors ein in Form zweier einander gegenüberstehenden Windmühlenflügel geschnittenes Blatt Kartonpapier (Fig. 114), stelle

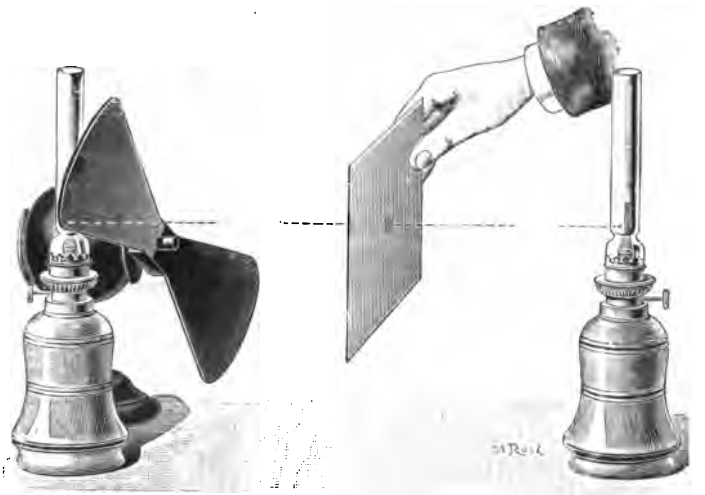


Fig. 114.

hinter die Flügel eine Lampe und sehe bei immer mehr zunehmender Umdrehungsgeschwindigkeit der Flügel nach der Lampe. Man bestimme die Geschwindigkeit, für welche man einen dauernden Lichteindruck der Lampe hat, und berechne daraus die Zeit, für welche ein Lichteindruck sich erhält, nachdem die Lichtquelle verschwunden ist.

Man vergleiche photometrisch die Helligkeit der durch die sich bewegenden Flügel zeitweise verdeckten Lampe mit der einer anderen von gleicher Lichtstärke. Man vergleiche das Verhältnis der Lichtstärken mit dem Verhältnis des Kreisbogens der Flügel zum ganzen Kreisumfang.

2. Man zeichne auf die eine Seite eines Kartonblattes das Bild eines Pferdes, auf die andere das des Reiters derart, daß er auf dem Pferde zu sitzen scheint (Fig. 115), wenn man das Blatt mittels zweier an zwei gegenüberliegenden Rändern befestigten, horizontal gespannten Fäden schnell vor dem Auge rotieren läßt.

3. Man male den einen Flügel der im ersten Versuch benutzte Versuchsanordnung weiß, den andern schwarz, oder aber beide i

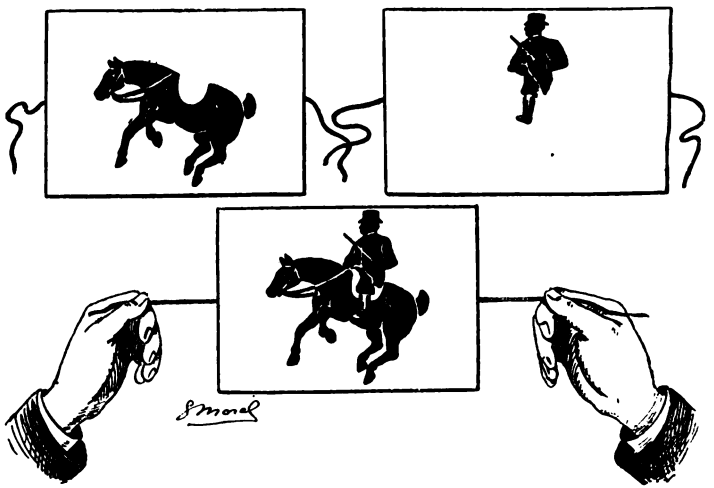


Fig. 115.

Komplementärfarben und beobachte die bei schneller Drehung entstehende Mischfarbe.

4. Man klebe auf einen Spiegel ein Blatt weißes Papier, auf dem Schriftzeichen mit schwarzer Farbe gezeichnet sind, hänge den Spiegel gegen einen dunklen Hintergrund auf, so daß der Spiegel von der Seite stark beleuchtet wird, und sehe so in den Spiegel, daß das Auge an der Kante des Papieres vorbei visierend sein Spiegelbild erblickt (Fig. 116). Man fixiere das Bild einige Sekunden scharf und lasse dann durch einen Gehilfen das Papier durch ein größeres Blatt weißes Papier bedecken. In welchen Farben erscheint das Nachbild? Man klebe auf den Spiegel ein Blatt farbiges Papier und verfahre wie vorher In welcher Farbe erscheint das Nachbild?

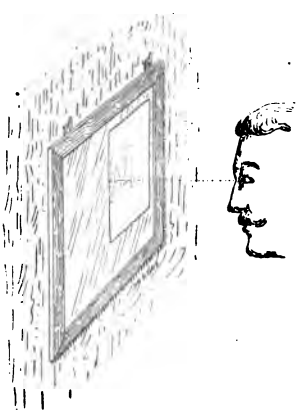


Fig 116.

67. Optische Täuschungen. 1. Man schneide aus einem Blatt schwarzes Papier ein Quadrat und einen schmalen Streifen, klebe dann das schwarze Papier auf ein weißes und auf dieses ferner die ausgeschnittenen Stückchen unterhalb der Ausschnitte, den schwarzen Streifen in unmittelbarer Verlängerung des Spaltes (Fig. 117). Welche Zeichnungen scheinen die größeren zu sein?

Man kann den Eindruck noch verstärken, wenn man durch eine Sammellinse von kurzer Brennweite nach den Zeichnungen sieht, wodurch man verhindert, daß scharfe Bilder auf der Netzhaut entstehen.

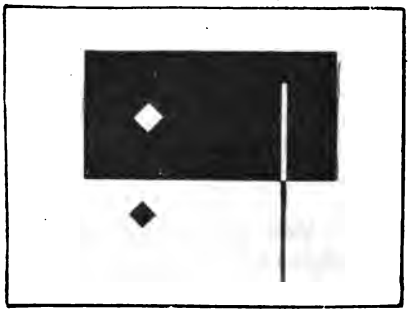


Fig. 117.

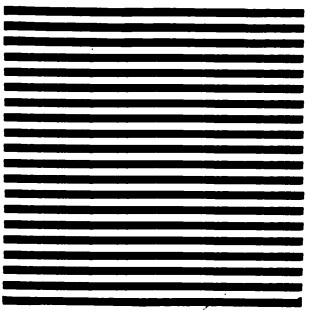


Fig. 118.

2. Man zeichne auf weißem Papier eine größere Anzahl einander paralleler, schwarzer Striche (Fig. 118), so daß die Figur quadratisch ist. In welcher Richtung erscheint die Figur verlängert?

3. Man teile die eine Hälfte einer geraden Linie in eine Anzahl gleicher Teile und lasse die einzelnen Teilstriche hervortreten. Welche Hälfte der Geraden erscheint länger?

4. Man zeichne zwei aufeinander senkrechte Geraden und teile zwei Scheitelwinkel in eine Anzahl gleicher Teile. Welche rechten Winkel erscheinen vergrößert, die geteilten oder die ungeteilten?

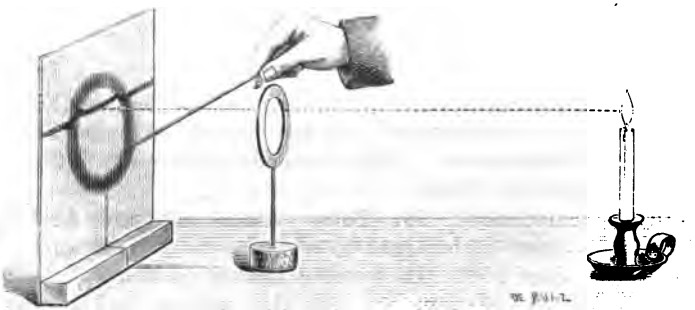


Fig. 119.

5. Man lege über eine etwa 1 mm dicke gerade Linie unter einem spitzen Winkel einen etwas breiteren Streifen Papier, so daß die Gerade in zwei Teile getrennt wird. Wie scheinen diese beiden Teile gegeneinander zu liegen? — Man kann diese Erscheinung an dem in Nr. 10, 4 angestellten Versuch zeigen, indem man die beiden Stäbe nicht rechtwinklig zueinander hält. — Man entwerfe den Schatten eines ringförmigen Stückes Kartonpapier und halte zwischen Ring und Schirm eine Stricknadel (Fig. 119). Welchen Eindruck macht der Schatten der Stricknadel?

III. Elektrizität und Magnetismus.

68. Anziehung durch Magnete. 1. Man lege einen natürlichen Magnet (Magneteisenstein) in Eisenfeilspäne und nehme ihn wieder heraus. Welche Erscheinung beobachtet man? — 2. Man nähere einem starken Stahlmagnete kleine Stückchen Eisen, Nickel, Kobalt, Kupfer oder Aluminium. Welche Metalle werden angezogen, welche nicht? — 3. Man hänge einen unmagnetischen Eisenstab mittels eines in seiner Mitte angelöteten Kupferdrahtes und eines an diesem befestigten Kokonfadens oder mittels eines an einem Faden befestigten Drahtbügels auf, so daß er sich in einer Horizontalebene bewegen kann, und nähere ihm einen Magnet. Dann hänge man den Magnet ebenso auf und nähere ihm den Eisenstab. Welchen Unterschied zeigen die beiden beobachteten Erscheinungen? — 4. Man lege einen

Fig. 120.

Stabmagnet in Eisenfeilspäne, nehme ihn wieder heraus (Fig. 120) und vergleiche das verschiedene Verhalten der beiden Enden (Pole) und der Mitte (Indifferenzpunkt). Die Verbindungslinie der beiden Pole heißt die magnetische Achse.

69. Verschiedenheit der Pole. Anziehung und Abstoßung. 1. Man hänge einen Stabmagnet so auf, daß er sich in wagerechter Ebene drehen kann (68). In welcher Himmelsrichtung kommt der Magnet zur Ruhe? Man unterscheide den nahezu nach Norden gerichteten Pol durch ein besonderes Kennzeichen von dem nahezu nach Süden gerichteten, bringe den Stab um 180 Grad aus seiner Gleichgewichtslage und beobachte das Verhalten der Pole. — 2. Man nähere die Nord-, ferner die Südpole zweier Magnetstäbe, von denen der eine in horizontaler Ebene beweglich ist, einander (Fig. 121), schließlich den Nordpol des einen Magnetes dem Südpol des andern. Welche Pole ziehen sich an, welche stoßen sich ab? — 3. Man suche unter einer Anzahl gleichlanger Stabmagnete zwei von gleichem „magnetischen Moment" aus, indem man jeden von ihnen in derselben Entfernung mit dem gleichnamigen Pol vertikal vor den einen Pol einer Magnetnadel stellt, diese aus dem Gleichgewicht bringt

und die in einer Minute erfolgenden Schwingungen miteinander vergleicht; Stäbe, denen dieselbe Schwingungszahl entspricht, nennen wir gleich. Dann lasse man die Nadel einmal unbeeinflußt von den Stäben schwingen, einmal, wenn beide Stäbe gleichzeitig so vor der Nadel stehen, daß ihre ungleichnamigen Pole aufeinander liegen, zähle in jedem dieser beiden Versuche die in einer Minute erfolgenden Schwingungen und vergleiche die Resultate miteinander. Welchen Einfluß haben die beiden gleichzeitig wirkenden Pole der beiden Magnetstäbe auf die Nadel? Was folgt hieraus für die Stärke ungleichnamiger Pole gleicher Magnete. — 4. Astatisches Nadelpaar.

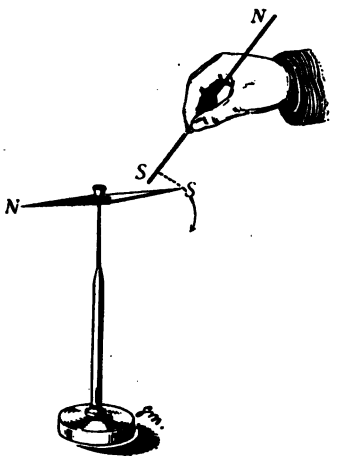


Fig. 121.

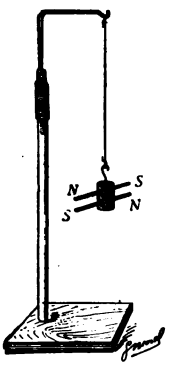


Fig. 122.

Man mache eine Stahlstricknadel stark magnetisch, zerbreche sie in der Mitte und stecke die Teile parallel zueinander so durch einen Kork, daß die entgegengesetzten Pole übereinander liegen. Mittels eines am oberen Ende des Korkes angebrachten Häkchens hänge man das Ganze an einem Faden auf (Fig. 122). Man lasse das Nadelpaar um die vertikale Achse schwingen und vergleiche die Bewegung mit der einer einzelnen Magnetnadel oder der desselben Paares, nachdem man die Richtung der einen Nadel umgekehrt hat, so daß gleichnamige Pole übereinander liegen. In welcher Anordnung ist das Richtungsmoment (I, 35) des Systems am größten, in welcher am kleinsten? Für welche Anordnung der Pole ist die Wirkung gleich der Summe, für welche gleich der Differenz?

70. Magnetisierung durch Influenz. 1. Man halte das eine Ende eines Stäbchens aus weichem Eisen in Eisenfeilicht und nähere dem andern Ende einen Magnet (Fig. 123). Dann entferne man den Magnet. Wie verhält sich das Stäbchen in jedem dieser beiden Fälle den Feilspänen gegenüber? — 2. Man hänge ein Eisenstäbchen an den einen Pol eines Stabmagnetes. Dann schiebe man an diesem

einen zweiten gleich langen Magnet, von gleichem oder größerem magnetischen Moment so entlang, daß der Nordpol des einen sich dem Südpole des andern nähert. Wie verhält sich das Eisenstäbchen? — 3. Man nähere ein Eisenstäbchen mit einem Ende dem Pole eines Stabmagnetes und untersuche die Polarität des anderen Endes mit einer Magnetnadel. Welchen Pol beobachtet man? Dann bringe man das Stäbchen mit einem Ende in die Nähe des anderen Poles des Magnetes und stelle dieselbe Beobachtung an; welche Beziehung haben die im Stäbchen influenzierten Pole zu den Polen des festen Magnetes? Schließlich nähere man das Stäbchen mit seiner Mitte dem Magnet. Welche Pole zeigen jetzt die beiden Enden, welchen die Mitte? — 4. Man hänge an einen Magnet nacheinander gleich große Stäbe von Eisen bzw. Stahl und bringe dann in die Nähe dieser Stäbe Stahlfedern oder eiserne Nägel. Von welchem der beiden Stäbe werden die Stahlfedern schneller angezogen? Welche behält mehr Stahlfedern, nachdem der Magnet entfernt ist? Welcher Stab setzt also der Magnetisierung und der Entmagnetisierung die größere Kraft entgegen (Koërzitivkraft; remanenter Magnetismus)?

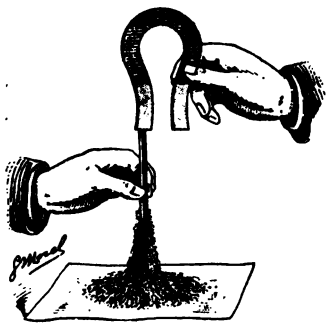


Fig. 123.

71. Einfluß der Temperatur auf den Magnetismus. 1. Man erhitze einen unmagnetischen Eisen- oder Stahlstab bis zur Rotglut (Fig. 124). Wie verhält er sich in diesem Zustande einem Magnete gegenüber? wie, nachdem er wieder abgekühlt ist? Wie ändert sich die Erscheinung, wenn der Stab vor dem Erhitzen magnetisch war? — 2. Man erhitze eine magnetische Stricknadel in der Mitte bis zur Weißglut und lege sie nach dem Abkühlen in Eisenfeilspäne. Wieviel Pole zeigt jetzt die gleichsam magnetisch zerbrochene Stricknadel?

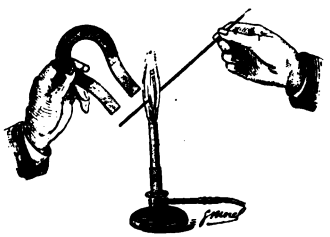


Fig. 124.

72. Magnetisierungsmethoden. 1. Man streiche mit dem einen Pole eines starken Magnetes an einer Stricknadel von der Mitte aus mehrmals nach demselben Ende zu (Fig. 125). Ebenso verfahre man mit dem andern Pole und der andern Hälfte der Stricknadel. Man vergleiche die Lage der Pole der Nadel mit der der Pole des Magnetes (70 s). — 2. Man setze einen Hufeisenmagnet in der Mitte einer Stricknadel auf, streiche wiederholt an der Stricknadel vom einen zum anderen Ende und hebe zuletzt in der Mitte ab. Welchen Magnetismus zeigen die beiden Enden der Stricknadel und die beiden Stellen (Folgepunkte), an denen die Pole des Hufeisenmagnetes

zuletzt abgehoben wurden? — 3. Man stelle sich eine „Magnetisierungsspirale“ her, indem man auf einer langen Glasröhre isolierten, d. h. mit Seide oder Baumwolle umsponnenen oder mit Kautschuk überzogenen Draht aufwickelt. Man schicke durch die Windungen einen kräftigen Strom aus einer galvanischen Batterie (Akkumulator) und lege den zu magnetisierenden Stab (Stricknadel) in die Spule hinein (Fig. 126). — 4. Man ändere bei der Herstellung der Magnetisierungsspirale in der Mitte der Glasröhre den Sinn der Umwickelung, so daß die ganze Röhre zur Hälfte im Sinne des Uhrzeigers, zur Hälfte im entgegengesetzten Sinne umwickelt ist. Man mache mit

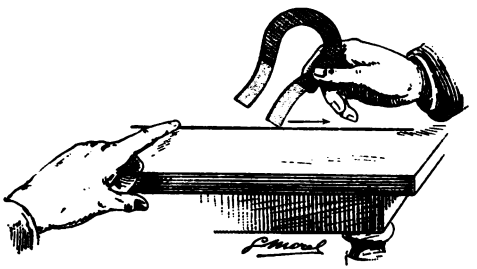


Fig. 125.

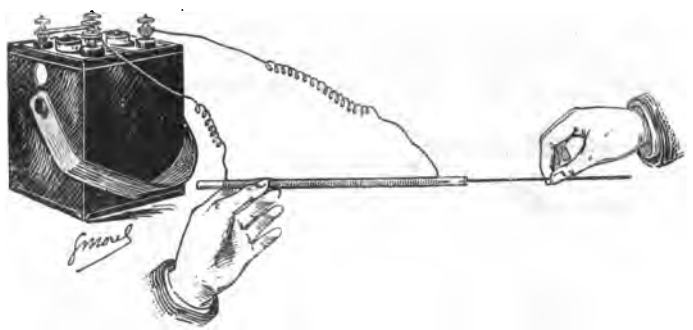


Fig. 126.

dieser Spirale einen Stab magnetisch. Welche Pole besitzt er an den Enden und in der Mitte? — 5. Man umwickle einen Stahlring zur Hälfte in dem einen, zur Hälfte in dem andern Sinne mit isoliertem Draht und schicke durch diesen längere Zeit einen starken Strom. Wieviel Pole (Folgepunkte) und wieviel Indifferenzzonen hat der Ring?

73. Magnetnadeln. Magnetometer. 1. Man mache nach einer der in Nr. 72 angegebenen Methoden Strick- oder Nähnadeln magnetisch und richte sie zu Kompaßnadeln her, indem man sie mittels eines Korkes, um die Oberflächenspannung des Wassers keinen Einfluß ausüben zu lassen, nahe unter der Oberfläche des letzteren schwimmen läßt (Fig. 127) oder indem man sie mittels eines in ihrer Mitte befestigten Drahtes an einem Kokonfaden aufhängt (68, s; Fig. 128) oder indem man sie mit Hilfe eines in ihrer Mitte angebrachten kleinen Hütchens auf eine Nadelspitze setzt (Fig. 129). — Man kann auch zwei Stricknadeln parallel zueinander mit nach derselben Seite gerichteten Polen durch einen Kork stecken, durch dessen Mitte

ein an dem einen Ende geschlossenes Glasröhrchen geht, und dieses auf einer in einem Brett befestigten Nadel ruhen lassen (Fig. 130). — Eine leicht bewegliche Magnetnadel erhält man auch, wenn man eine

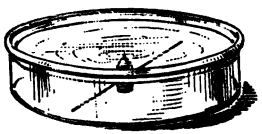


Fig. 127.

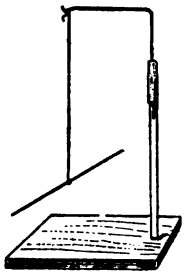


Fig. 128.

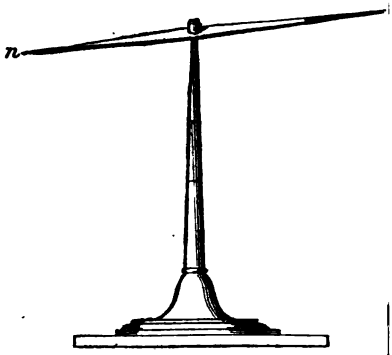


Fig. 129.

Stricknadel durch einen Kork steckt und sie mittels einer durch denselben Kork rechtwinklig zu ihr gehenden Nähnadel auf einer Münze balanzieren läßt, indem man, um Stabilität (I, 17) zu erzielen,

Fig. 130.

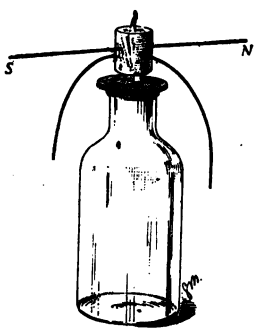


Fig. 131.

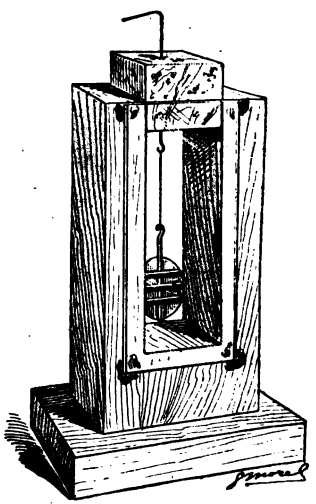


Fig. 132.

durch den Kork noch einen mit den Enden nach unten gebogenen Kupferdraht steckt (Fig. 131).

2. Für feinere Versuche benutzt man das Magnetometer. Man befestige drei magnetische halbe Nähnadeln parallel zueinander und mit den gleichen Polen nach derselben Seite rechtwinklig an einem Stück leichten Kupferdraht und vor diesem einen kleinen ebenen

Spiegel, oder man klebe die kleinen Magnetstäbchen direkt auf die Rückseite des Spiegels, durch den man zum Aufhängen ein kleines Loch bohrt. Dieses System kurzer Magnete hänge man an einem ungedrehten Seidenfaden oder an einem feinen Quarzfaden so auf, daß die kleinen Magnete horizontal stehen und sich in den magnetischen Meridian einstellen können (Fig. 132). Mittels eines Drahtes und eines Stückes Kork, durch den man diesen Draht hindurchführt,

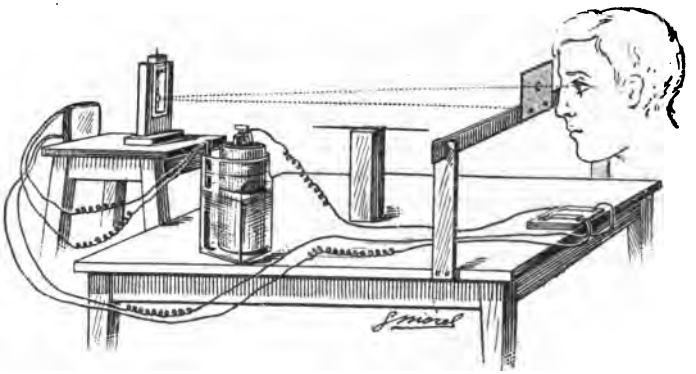


Fig. 133.

hänge man das System in ein Gehäuse, das auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten Glasscheiben besitzt; man drehe den oberen Draht so, daß Scheiben und Spiegel einander parallel laufen. Zur Ablesung bedient man sich meistens der Poggendorffschen Spiegelablesung (36), indem man entweder nur eine kleine unmittelbar über der Skalenmitte befindliche Diaphragmenöffnung benutzt (Fig. 133) oder mit einem Fernrohr abliest.

74. Molekularer Bau eines Magnetes. 1. Man magnetisiere einen Stahlstreifen und bestimme seine Pole. Dann biege man den

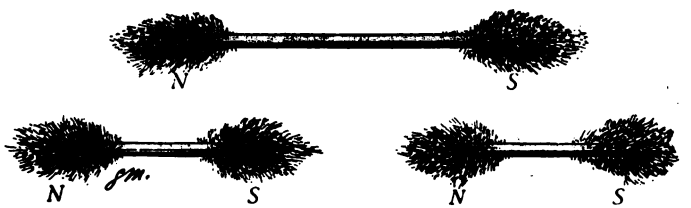


Fig. 134.

Streifen, so daß die beiden Enden sich berühren, und suche wieder die Pole. — 2. Man lege eine magnetische Stricknadel in Eisenfeilspäne, nehme sie heraus und beobachte das verschiedene Verhalten der Pole und des Indifferenzpunktes. Dann zerbreche man die Stricknadel in der Indifferenzzone und beobachte jeden der Teile, nachdem er in Eisenfeilspänen gelegen hat (Fig. 134). Man vergleiche diese

Erscheinung mit der in Nr. 71, 2 beobachteten. Man zerbreche jedes Stück in immer kleinere Teile und vergleiche das Verhalten sämtlicher Teile den Feilspänen gegenüber miteinander. Man wiederhole diese Versuche in umgekehrter Weise, indem man die Teile mit ihren Bruchstellen aneinander legt; wie verhalten sich die zusammenkommenden entgegengesetzten Pole, wenn die Bruchstellen recht genau aneinander passen? Denkt man sich die Teilung immer weiter durchgeführt, welchen Schluß kann man dann aus diesen Versuchen auf den inneren Bau eines Magnetes ziehen? — 3. Man fülle ein Reagenzglas mit Eisenfeilstaub, fahre mit einem starken Magnete längs der Röhre entlang, wobei man vorsichtig an die Röhre klopft, und bestimme die Pole des im Glase enthaltenen Eisens. Dann schüttele man das Glas oder entleere und fülle es von neuem und suche wieder die Pole. Welchen Einfluß werden hiernach bei der Magnetisierung (70 u. 72) die magnetisierenden Magnete auf die Lagerung der Molekularmagnete des unmagnetischen Eisens oder Stahles ausüben?

75. Schirmwirkung. 1. Man halte zwischen Magnet und Eisenfeilspänen Platten von Glas (Fig. 135), Holz, Pappe, Kupfer, Messing, Eisen. Welchen Einfluß haben diese Platten auf die Anziehungskraft des Magnetes? — 2. Man lenke eine Magnetnadel durch einen Magnet ab und halte dann zwischen beide eine der in den vorigen Versuchen benutzten Platten. Wie verhält sich die Magnetnadel? — 3. Man beobachte den Unterschied in der Wirkung eines Hufeisenmagnetes auf eine Magnetnadel, je nachdem er mit oder ohne Anker benutzt wird. — 4. Man stelle eine Magnetnadel innerhalb eines eisernen Ringes auf, bringe sie aus der Nord-Südrichtung und vergleiche ihr Verhalten mit dem nach Entfernung des Ringes beobachteten.

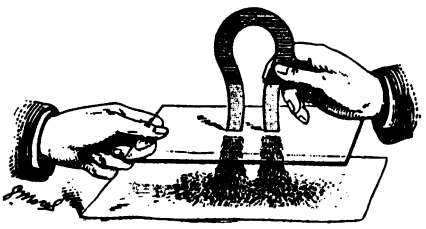


Fig. 135.

Wie unterscheiden sich demnach die benutzten Stoffe hinsichtlich ihrer Schirmwirkung?

76. Kraftlinien permanenter Magnete. 1. Man stelle einen starken Stabmagnet vertikal, lege auf den oberen Pol ein Blatt Papier oder eine dünne Glasplatte und bringe hierauf mittels eines Siebes feinsten Eisenfeilstaub, wobei man vorsichtig mit einem kleinen Stäbchen auf das Papier oder das Glas klopft. In welcher Richtung (Kraftlinien) ordnen sich sämtliche zu kleinen Magneten (70) gewordenen Eisenteilchen? — 2. Man lege den Stabmagnet flach auf den Tisch und auf den Stab das Papier und erzeuge wieder die Kraftlinien (Fig. 136). Nach welchen Punkten sind die Kraftlinien gerichtet? Wie liegen die Pole, die Konvergenzpunkte der Kraftlinien, im Verhältnis zu den Enden des Stabes? — 3. Man erzeuge das

Kraftlinienbild eines Hufeisenmagnetes, einmal, wenn seine Ebene parallel (Fig. 137), dann, wenn er senkrecht zu dem Blatt Papier gerichtet ist. Welche Richtung haben die Kraftlinien zwischen den beiden Polen? — 4. Man stelle den Magnet aufrecht, lege auf jeden Pol ein Stück weiches Eisen (Halbanker, Polschuh), so daß zwischen ihnen ein schmaler Raum frei bleibt, und erzeuge auf darüber gelegtem Papier die Kraftlinien. Wie verlaufen sie zwischen den Polschuhen (homogenes Kraftfeld)? — 5. Man erzeuge die Kraftlinienbilder zweier stark magnetisch gemachten Stricknadeln, die in einiger Entfernung parallel zueinander liegen, einmal, wenn gleichnamige, dann, wenn ungleichnamige (Fig. 138) Pole benachbart sind. In welchem Falle läßt sich ein nahezu homogenes Kraftbild erkennen? — 6. Man erzeuge das Kraftfeld einer magnetischen Uhrfeder, welche zu einem mehr oder weniger offenen Ringe zusammengebogen

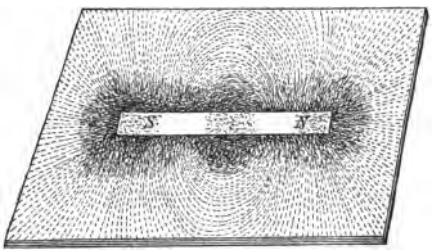


Fig. 136.

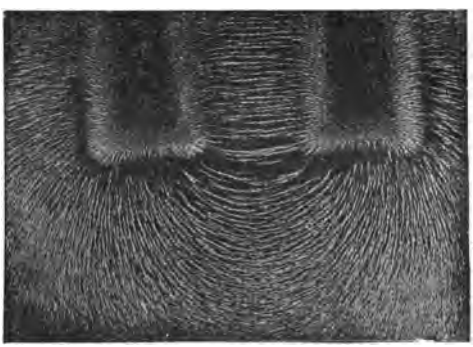


Fig. 137.

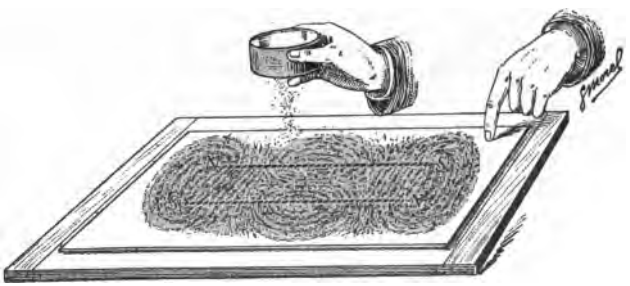


Fig. 138.

ist, auf den man das Papier legt. Wie ändert sich das Bild, wenn die Feder immer weiter zusammengebogen wird, bis schließlich die Pole sich berühren (74,1)?

Man fixiere diese Kraftlinienbilder nach einer der in I, 25

angegebenen Methoden. Man erhält auch sehr schöne Bilder, wenn man die Kraftlinien in der Dunkelkammer auf Positivpapier herstellt, dieses die nötige Zeit belichtet und dann, nachdem in der Dunkelkammer die Eisenfeilspäne abgefegt sind, in der gewöhnlichen Weise entwickelt und fixiert.

77. Kraftlinien permanenter Magnete, beeinflußt durch weiches Eisen. 1. Man wiederhole den zweiten Versuch der vorigen Nummer, indem man vor den einen Pol ein Stück weiches Eisen legt, und vergleiche die beiden Kraftlinienbilder miteinander. In welcher Weise wird durch das weiche Eisen das Kraftfeld des Poles abgeändert? Hat nach diesem Versuche die Luft oder das Eisen die größere Durchlässigkeit, Permeabilität, für magnetische Kraftlinien? Welchen Pol besitzt das weiche Eisen an der Stelle des Eintrittes der

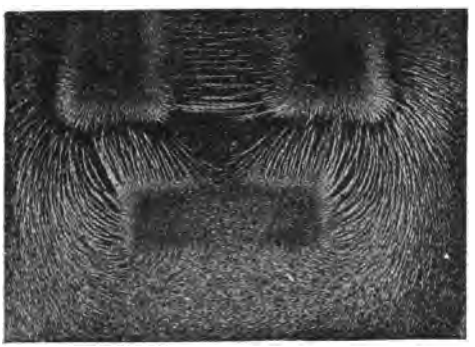


Fig. 139.

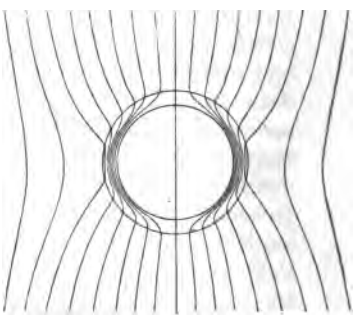


Fig. 140.

vom Nordpol des Magnetes ausstrahlenden Kraftlinien, welchen beim Austritt (70, 3)? — Man stelle einen ähnlichen Versuch an mit einem Hufeisenmagnet, indem man den Stab vor beide Pole legt (Fig. 139).

2. Man wiederhole den vierten Versuch der vorigen Nummer, indem man zwischen beide Polschuhe einen Ring aus weichem Eisen bringt (Fig. 140). Wie verhält sich die Zahl der Kraftlinien innerhalb des vom Ring umschlossenen Raumes zu der ohne den Ring für dieselbe Fläche gefundenen Zahl? Welche Beziehung hat diese Beobachtung zu dem Versuch über die Schirmwirkung eines Ringes aus weichem Eisen? (75, 4).

78. Kraftlinien des erdmagnetischen Kraftfeldes. 1. Man stelle einen kleinen Kompaß, auf dessen Gehäuse die N-S-Richtung durch kleine Einkerbungen angegeben ist, auf ein Papier und markiere auf diesem die beiden Kerbe mit Bleistift. Dann nehme man den Kompaß weg und verbinde beide Punkte miteinander. In welcher Beziehung steht diese Linie zu der Kraftlinie, welche durch diesen Teil des Kraftfeldes geht? Man verschiebe den Kompaß, bis eine Kerbe mit dem der anderen Kerbe der vorigen Stellung zu-

gehörigen Bleistiftpunkt zusammenfällt, und markiere wieder beide Kerben usw. Man zeichne auf diese Weise, indem man von verschiedenen Anfangspunkten ausgeht, eine Reihe von Kraftlinien. Welche Eigenschaft hat nach dieser Aufzeichnung das Kraftfeld der Erde (76, 4)?

2. Man störe das Feld des Erdmagnetismus, indem man auf das Papier einen kräftigen Stabmagnet in nordsüdlicher Richtung legt, mit dem Nordpol nach Norden. Man stelle wieder die Magnetnadel an verschiedenen Punkten auf das Papier, drehe jedesmal das Gehäuse so, daß die Nadel nach den Marken gerichtet ist, und zeichne die Richtung der Nadel nach. Dann zeichne man die Kurven, an welchen diese Richtungen Tangenten sind (Fig. 141). Wie laufen die Kraftlinien in größerer Entfernung von den Polen?

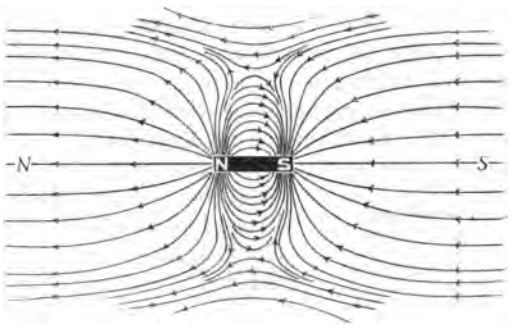


Fig. 141.

3. Man wiederhole den Versuch, wenn der Nordpol des Magnetstabes nach Süden gerichtet ist (Fig. 142), und vergleiche beide Zeichnungen miteinander. Für diese Versuche muß der Magnetstab sehr kräftig sein. Man benutze eine Anzahl recht kräftig magnetisierter, mit Magnetismus gesättigter Stricknadeln aus recht hartem Stahl, die man mit gleicher Polrichtung zu einem Packet zusammenbindet (Magnetisches Magazin).

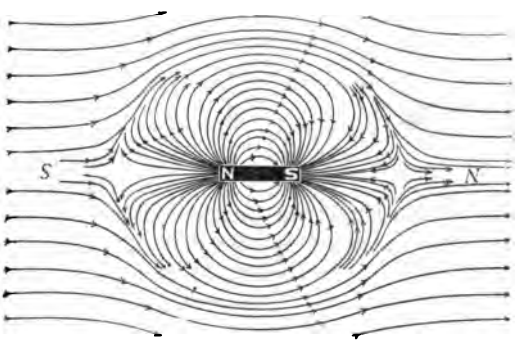


Fig. 142.

4. Man verfolge im letzten Versuch zwei Kraftlinien des Erdfeldes, welche nördlich oder südlich in hinreichender Entfernung vom Magnete so liegen, daß ihre geradlinigen Verlängerungen möglichst nahe, aber an derselben Seite an ihm vorbeigehen, auf ihrem Wege um ihn herum und vergleiche ihre Entfernung voneinander, wenn sie nördlich bzw. südlich, mit der, wenn sie östlich oder westlich von ihm sind. Man lasse eine kleine Magnetnadel, Magnetometer (73, 2) an der Stelle, wo sie am weitesten voneinander entfernt, und an der Stelle, wo sie am nächsten benachbart sind, schwingen und ver-

gleiche die durch das Quadrat der Schwingungszahl (I, 35) gemessene Stärke des Feldes mit der Breite des durch das Papier gegebenen Querschnittes der untersuchten Kraftröhre. Man bezeichne das Produkt aus dem Querschnitt der Kraftröhre und der Stärke der Kraft im untersuchten Querschnitt als Kraftströmung oder Kraftfluß; wie ist nach den eben angestellten Versuchen der Kraftfluß an den verschiedenen Stellen einer Kraftröhre?

Das eben gefundene Gesetz prüfe man an den Stellen des Kraftfeldes, wo die Kraftlinien am engsten beieinander, und namentlich an den beiden, nördlich und südlich vom Magnetstab gelegenen, wo die Zeichnung gar keine Kraftlinien aufweist.

79. Bewegungen im Kraftfelde. 1. Auf einen recht kräftigen, aufrecht gestellten Hufeisenmagnet lege man zwei lange Polschuhe in möglichst großer Entfernung voneinander. Man hänge in den homogenen Teil (76,4) des Kraftfeldes eine so kurze Magnetnadel, daß die Entfernung der Polschuhe voneinander ungefähr 3 bis 4mal so groß ist wie die Nadel, an einem recht langen Faden so auf, daß sie ganz leicht seitliche Bewegungen ausführen kann. Welche Bewegungen macht sie unter dem Einfluß des magnetischen Feldes, d. h. wenn man von den vielleicht durch das Gewicht bedingten Pendelschwingungen absieht? Was für Kräfte werden demnach durch die gegenseitige Einwirkung eines homogenen magnetischen Kraftfeldes und einer Magnetnadel hervorgerufen, drehende oder verschiebende?

Fig. 143.

2. Man lege den Hufeisenmagnet ohne die Polschuhe flach hin, hänge an einem langen Faden eine kleine Kugel aus weichem Eisen so auf, daß sie gerade zwischen den Armen des Magnetes hängt, und neben ihr an einem ebenso langen Faden ein Bleilot. Wie muß sie nach dem eben gefundenen Resultat in diesem homogenen Kraftfeld neben dem Bleilot hängen?

Man bewege nun entweder den Magnet oder die Aufhängevorrichtung von Kugel und Lot so, daß die Kugel aus dem homogenen Teil des Feldes entfernt wird. Wie hängt sie jetzt neben dem Bleilot (Fig. 143)? Man suche die Stelle, nach der die Kugel strebt, auf dem Bilde der Kraftlinien (vergl. Fig. 137) auf und vergleiche die Dichte der Kraftlinien dieser Stelle mit der Dichte dort, wo die Kugel sich befinden würde, wenn sie vertikal hinge.

Man lege vor den Hufeisenmagnet, ohne ihn zu berühren, ein Stück weiches Eisen und stelle mit Hilfe der Kugel wieder die Richtung der verschiebenden Kräfte an den verschiedenen Stellen des Kraftfeldes fest. Man vergleiche auch hier mit Hilfe des Kraft-

linienbildes (vergl. Fig. 139) die Richtung der verschiebenden Kraft mit der Änderung der Kraftlinienzahl in dieser Richtung. Man untersuche namentlich die dreieckartige Stelle zwischen den beiden einander zugekehrten Ecken des Magnetes und dem Eisenstück. Wie muß die Zahl der Kraftlinien an dem Ort sein, nach welchem sich die Kugel bewegt, im Vergleich mit der an dem Ort, von wo sie kommt?

3. Verfolgt man die Kraftlinien des erdmagnetischen Feldes (78, 1) über die ganze Erde, so erhält man die Meridiankurven (Fig. 144), wie man die Kraftlinien des Erdmagnetismus genannt hat, weil sie in mittleren Breiten den Meridianen nahezu parallel laufen. Wie die Karte zeigt, schneiden sie sich in den beiden Polen. Es ist also das Kraftfeld der Erde nur innerhalb solcher Räume als homogen

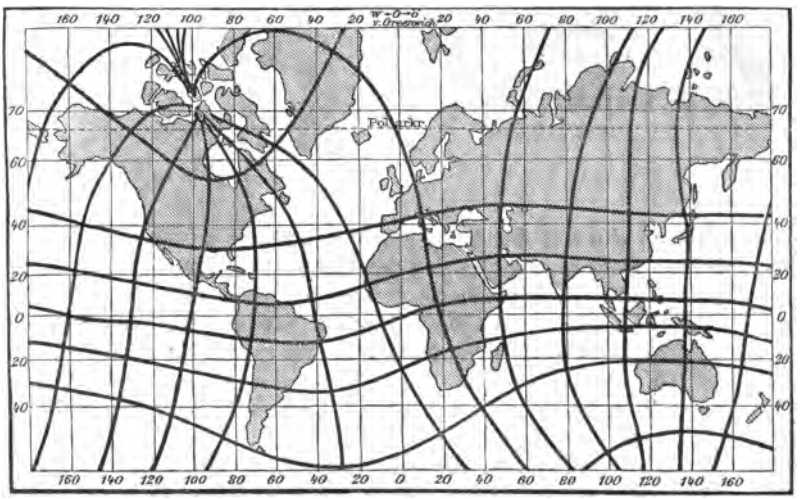


Fig. 144.

zu betrachten, welche gegen die Erde als Ganzes verschwindend klein sind. Ebenso kann man auch für hinreichend große und kräftige Magnete von den Polen weit genug entfernte Teile des Feldes, wenn sie klein genug sind, als homogen betrachten. Was für Kräfte wird man bei der Untersuchung solcher Teile des Feldes mit recht kurznadeligen Magnetometern erhalten, drehende oder verschiebende?

80. Erdmagnetismus. 1. Man lege eine Magnetnadel auf einen flachen Kork, lasse diesen auf Wasser schwimmen (Fig. 145) und beobachte, ob die Nadel außer einer drehenden Bewegung auch eine fortschreitende Bewegung annimmt. — 2. Man hänge eine Magnetnadel in ihrer Mitte an einem Kokonfaden auf (68, 3) und bringe neben die Nadel ein Bleilot (Fig. 146). Man visiere längs der von beiden Aufhängefäden gebildeten Ebene, bringe die Nadel in ihrer Horizontalebene aus dem Gleichgewicht und beobachte, ob der Aufhängefaden aus der Ebene, längs welcher man visiert, heraustritt. Ist

demnach das Kraftfeld des Erdmagnetismus, so weit es hier in Frage kommt, als homogen zu betrachten oder nicht (79, 1)? Wie verhält sich dieses Resultat zu dem durch Aufzeichnung der Kraftlinien (78, 1) gefundenen? — 3. Man hänge ein leichtes Stäbchen aus Holz, Glas oder irgend einem anderen nicht magnetisierbaren Material (68, 2) in

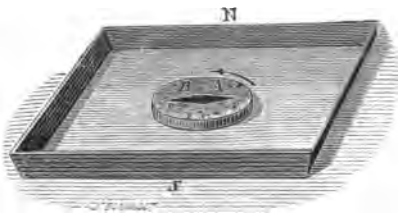


Fig. 145.

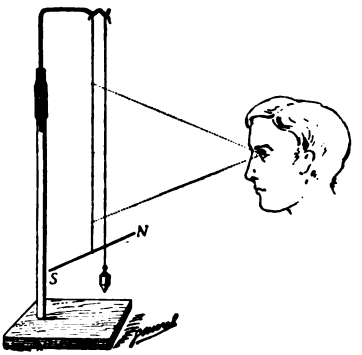


Fig. 146.

seiner Mitte an einem Kokonfaden auf und befestige an dem einen Ende des Stäbchens rechtwinklig zu ihm einen kleinen Stabmagnet; am andern Ende des Stäbchens bringe man ein Gegengewicht an (Fig. 147). Welchen Einfluß hat der Erdmagnetismus auf die Gleichgewichtslage des ganzen Systems? — 4. Man lasse eine in horizontaler Ebene schwingende Magnetnadel sich einstellen. Dann hänge man so hoch über der Nadel, daß sie nicht beeinflußt wird, daß sie also z. B. dieselbe Schwingungszahl behält, einen längeren Stabmagnet mittels eines in seiner Mitte befestigten Drahtes an einem Faden auf und lasse auch diesen Stabmagnet sich einstellen. Wie laufen die Richtungen beider Magnete zueinander? Was für Pole liegen übereinander? Man senke den Magnet allmählich tiefer und tiefer. Welchen Einfluß hat dieses auf die Fähigkeit der aus der Ruhelage gebrachten Nadel, sich einzustellen? Man senke den Magnet so weit, daß die Nadel sich umkehrt und mit ihrem Nordpol nach Süden weist. Welchen Einfluß hat jetzt der Erdmagnetismus auf die Nadel? Man nähere der Nadel parallel zu ihr von der Seite einen zweiten Stabmagnet, dessen Südpol nach Norden weist, bis auf eine solche Entfernung, daß die Nadel sich von neuem umkehrt und wieder so steht, als ob nur der Erdmagnetismus auf sie wirkte. Wo liegt demnach der Nordmagnetismus der Erde, wo der Südmagnetismus?

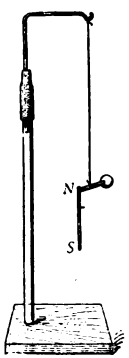


Fig. 147.

Man probiere die Stellung des von oben heruntergesenkten Magnetstabes gerade so aus, daß die Nadel im indifferenten Gleichgewicht sich befindet, und nähere dann von der Seite den hinreichend

starken Magnetstab so weit, daß die Nadel wieder so schwingt wie unter dem Einfluß des Erdmagnetismus allein. Welche Beziehung hat dann der Magnetismus dieses Stabes zum Erdmagnetismus?

81. Deklination. Man bestimme die Richtung des geographischen Meridians, indem man den Polarstern aufsucht (Fig. 148), welcher nur $1^0\,13'$ vom Pol entfernt ist, oder indem man auf einem freien Platz auf ein auf einem Tische befestigtes Blatt Papier eine Anzahl konzentrischer Kreise zeichnet, die Punkte bestimmt, in denen am Vor- und Nachmittag das Schattenbild der Spitze eines in das Zentrum der Kreise vertikal gestellten Stiftes denselben Kreis trifft, und die Winkel halbiert, den die Verbindungslinien des Kreiszentrums und der beiden Schattenpunkte miteinander bilden. Man entferne dann den Stift, stelle eine an einem Seidenfaden hängende Magnet-

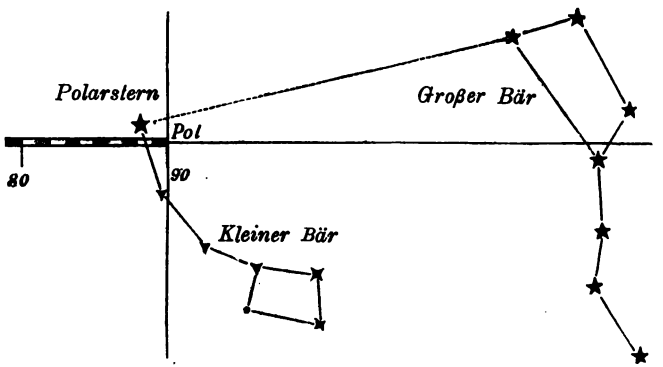


Fig. 148.

nadel (vergl. Fig. 128) über das Zentrum und bestimme den Winkel, um den die Nadel von der Richtung des geographischen Meridians abweicht, die Deklination. Die Richtung der durch die Nadel gehenden Vertikalebene nennt man den magnetischen Meridian.

82. Inklination. Man stecke zwei sehr dünne magnetische Stricknadeln parallel zueinander so durch einen Kork in seiner Längsrichtung hindurch, daß gleichnamige Pole nebeneinander liegen. Quer durch den Kork, möglichst genau senkrecht zu den Nadeln, ziehe man einen Seidenfaden, den man in horizontaler Lage spannt und befestigt (Fig. 149). Rechtwinklig zur Fadenrichtung bringe man am einen Ende des Fadens ein in Winkelgrade eingeteiltes halbkreisförmiges Blatt Papier an. Man reguliere zunächst das Gleichgewicht der Nadeln, indem man mit Hilfe einer Deklinationsnadel den Faden in den magnetischen Meridian stellt, so daß die Nadeln also in einer zum Meridian senkrechten Ebene schwingen, und durch kleine am Kork angebrachte Stiftchen bewirkt, daß der Schwerpunkt beider Nadeln möglichst nahe am Faden liegt. Kann man indifferentes Gleichgewicht nicht vollständig erreichen, so ist es besser, wenn die Nadeln

sich mit nach unten gerichtetem Nordpol vertikal stellen als umgekehrt; jedenfalls muß aber die Schwingungszeit mehrere Sekunden betragen. Dann drehe man den Apparat so, daß der Faden aus der Meridianebene herausgeht, und beobachte das Verhalten des Nordpoles der Nadel. Man stelle schließlich das Nadelpaar in die Meridianebene und bestimme mit Hilfe der Kreisteilung den Winkel, um den sich der Nordpol gehoben hat, nachdem man durch ein Bleilot den Nullpunkt der Skala festgestellt hat. Man berechne das

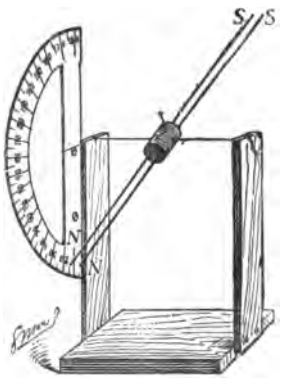


Fig. 149.

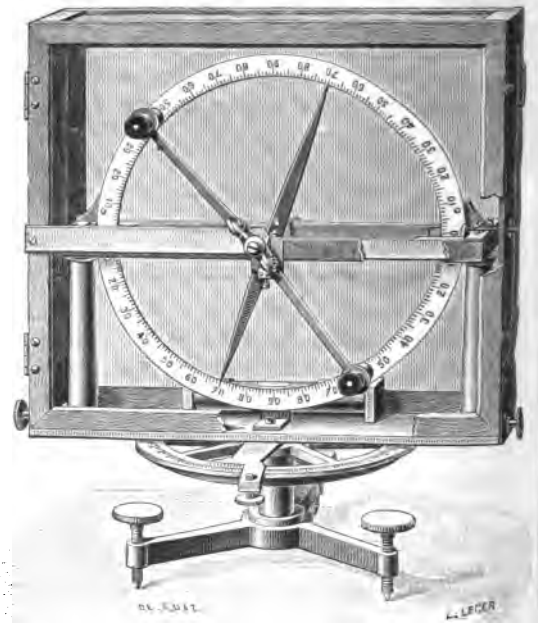


Fig. 150.

Komplement des eben gefundenen Winkels, die Inklination. Dann drehe man den Apparat um 180 Grad und bestimme wieder die Inklination. Beide Werte sind nicht ganz genau, weil das Nadelpaar nicht genau im Schwerpunkt aufgehängt ist. Man wiederhole deshalb den Versuch mehrere Male und nehme aus den gefundenen Resultaten das Mittel. Ein zu genaueren Messungen dienendes Inklinatorium zeigt Fig. 150.

83. Gegenseitige Wirkung magnetischer Kräfte. Wirkung zweier Magnetpole. Abhängigkeit von der Entfernung. 1. Man lasse eine kurze Magnetnadel nur unter dem Einfluß des Erdmagnetismus schwingen, zähle die in irgendeiner Zeit erfolgenden Schwingungen und bestimme daraus die Dauer einer einzigen Schwingung. Dann lege man einen etwa 1 m langen Stabmagnet so neben die Nadel,

daß der Nordpol des Stabes in ihrer Richtung, also nördlich oder südlich, und etwa 50 cm von ihr entfernt liegt, während der Südpol sich rechtwinklig zu dieser Richtung, also östlich oder westlich vor der Mitte der Nadel befindet (Fig. 151). Man lasse die Nadel wieder schwingen. Schwingt sie langsamer oder schneller als vorher? Wirkt also auf die Nadel die Summe oder die Differenz des Südmagnetismus des erdmagnetischen Nordpoles und des Nordmagnetismus des Stabes? Man nähere den Nordpol des Stabes der Nadel, bis man ihrem Mittelpunkte ungefähr bis auf ihre vier- bis fünffache Länge nahe gekommen ist, bestimme jedesmal die Schwingungsdauer der Nadel und berechne, indem man ihr Trägheitsmoment gleich Eins setzt, das auf sie wirkende Richtungsmoment (I, 35). Dann zeichne man die Kurve, welche die Richtungsmomente als Ordinaten und die reziproken Werte der Quadrate der Entfernungen des Nordpoles des Stabes von der Magnetnadel als Abzissen enthält. Welche Gestalt hat diese Kurve? Welche Bedeutung hat der durch die Kurve auf der Ordinatenachse entstehende Abschnitt (5, 3)? Man ziehe durch den Koordinatenmittelpunkt zu der erhaltenen Kurve eine Parallele (5, 3). Welche Beziehung kann man aus dieser ableiten für die Abhängigkeit des vom Nordpol des Stabes auf die Nadel ausgeübten Richtungsmomentes von der Entfernung des Nordpoles von der Mitte der Nadel.

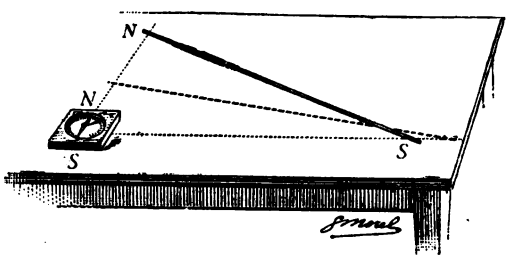


Fig. 151.

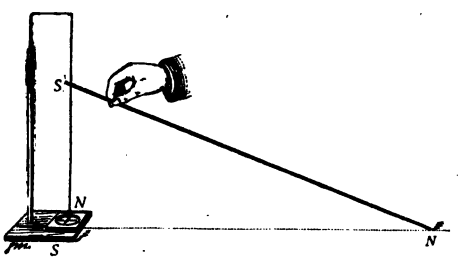


Fig. 152.

Man wiederhole die Versuche, indem man südlich von der Nadel dem Südpol des Stabes verschiedene Entfernungen von der Nadel gibt, dann über die Nadel hinweggeht und ihn nördlich von der Nadel sich entfernen lässt.

2. Man stelle die Mitte einer Magnetnadel genau in die Richtung eines Bleilotes (Fig. 152), halte einen längeren Magnetstab so in die Richtung Ost-West, daß der eine Pol längs des Fadens verschoben werden kann, während der zweite in der durch die Nadel gehenden Horizontalebene liegt, und messe die Ablenkung der Nadel. In welcher Beziehung steht nach dem Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte der Ablenkungswinkel zur richtenden Kraft des Erdmagnetis-

mus und des zweiten Stabpoles (I, 11)? Man wiederhole den Versuch für verschiedene Entfernungen dieses Stabpoles und zeichne die Kurve, welche die Tangenten der Ablenkungswinkel als Funktion der reziproken Werte der Quadrate der Entfernung darstellt. Bestätigt sich das bei der vorigen Versuchsanordnung gefundene Gesetz? — Die in diesen beiden Versuchsanordungen gebrauchten Mittel, die Wirkung eines Poles eines Stabes auf eine Nadel so klein zu machen, daß man sie vernachlässigen darf, können auch umgekehrt benutzt werden, d. h. man kann auch bei der Schwingungsmethode den Pol, dessen Einwirkung vermieden werden soll, vertikal über die Nadel halten und bei der Ablenkungsmethode nördlich oder südlich. Liegen beide Pole in derselben Ebene, in welcher die Nadel schwingt (vergl. Fig. 151), so muß der Pol, dessen Wirkung vermieden werden soll, eine größere Entfernung von der Nadel haben, als bei der anderen Anordnung.

3. Coulombsche Drehwage. Man lege auf ein weites zylinderförmiges Glasgefäß, um welches man einen mit Gradteilung versehenen Papierstreifen gelegt hat, einen Deckel, der in der Mitte ein rundes und nahe am Rande ein bogenförmiges Loch von ungefähr 45° Winkelöffnung besitzt. Auf der mittleren Durchbohrung befestige man eine Glasröhre, die oben eine Messingfassung, den Torsionskreis, trägt, deren Umfang in Grade eingeteilt ist. Einen Metallfaden löte man mit dem einen Ende in eine kleine Messingplatte, die auf den Torsionskreis paßt und mit einer Marke versehen ist, um die Drehung der Platte am Torsionskreis ablesen zu können. An das andere Ende des Metallfadens löte man einen Bügel oder eine Hülse, in welche man einen Magnetstab hineinlegen kann. Man stelle das Gefäß so, daß der nach einem Ende der bogenförmigen Öffnung zeigende Radius ungefähr im Meridian liegt, hänge den Metallfaden durch das Rohr bis in die Mitte des Glasgefäßes, lege zunächst einen Kupferstab in den Bügel, drehe den Faden, bis der Stab in der Richtung des magnetischen Meridians steht, und markiere auf beiden Kreisteilungen diese Stellung als Nullpunkt der Skala. Dann ersetze man den Kupferstab durch einen Magnetstab. Man bringe durch die zweite Öffnung des Deckels einen langen Stabmagnet, so daß sein Pol nahe dem gleichnamigen Pol des horizontal liegenden Magnetes steht, drehe den Torsionsknopf, bis der am Faden hängende Magnet wieder im magnetischen Meridian steht, und lese den hierzu nötigen Torsionswinkel ab. Man gebe dem vertikalen Stab verschiedene Stellungen in der bogenförmigen Öffnung, messe jedesmal den zugehörigen Torsionswinkel und suche das Gesetz, welches die Entfernung der aufeinander einwirkenden Pole mit der durch den Torsionswinkel gemessenen Kraft (I, 47) verbindet.

Bezeichnen wir die magnetische Kraft, mit welcher zwei Magnetpole sich abstoßen, mit K, ihre Entfernung mit r und mit k_1 eine Konstante, wie lautet dann die in allen drei Versuchsanordnungen gefundene Beziehung zwischen der Kraft K und der Entfernung der aufeinander einwirkenden Magnetpole?

84. Gegenseitige Wirkung magnetischer Kräfte. Wirkung zweier Magnetpole. Abhängigkeit von der Magnetismusmenge. 1. Man wiederhole einen der vorher nach der Methode der Schwingungen (vergl. Fig. 151) angestellten Versuche, indem man den Magnetstab aus möglichst hartem Stahl umkehrt, so daß die Pole ihre Lage wechseln, und bestimme nach dem Gesetz der korrespondierenden Addition und Subtraktion den vom Einfluß eines Poles des Stabes herrührenden Teil des Richtungsmomentes der Nadel, indem man annimmt, daß beide Pole dieselbe Stärke besitzen, und berücksichtigt, daß auf die Nadel einmal die Summe, das andere Mal die Differenz von Erdmagnetismus und Stabmagnetismus wirken. Man wiederhole denselben Versuch für einen zweiten, ebenfalls möglichst harten und möglichst gesättigten Stab bei derselben Entfernung und dann für beide Stäbe, indem man sie mit gleichnamigen Polen aufeinander legt, und berechne jedesmal das Richtungsmoment. In welcher Beziehung stehen die Richtungsmomente der Nadel unter dem Einfluß der einzelnen Stäbe zu dem Richtungsmoment, das man bei gleichzeitiger Benutzung beider Stäbe erhält? Man bezeichnet diejenige physikalische Größe, durch welche die Stärke eines Magnetpoles bestimmt wird, als seine Magnetismusmenge. Welche Beziehung hat nach den eben angestellten Experimenten die Magnetismusmenge zweier gleichzeitig wirkenden Magnetstäbe zu den Magnetismusmengen der einzelnen Stäbe? — 2. Man wiederhole einen der vorher nach der Methode der Ablenkungen (vergl. Fig. 152) angestellten Versuche, indem man der Reihe nach zwei verschiedene Stabmagnete, dann beide gleichzeitig, mit gleichnamigen Polen aufeinander gelegt, benutzt und die drei erhaltenen Tangenten der Ablenkungswinkel miteinander vergleicht. Man vergleiche das Resultat mit dem in den vorigen Versuchen gefundenen. — 3. Man lege bei der vorher (83, s) für die Methode der Drehwage benutzten Versuchsanordnung der Reihe nach zwei verschiedene Stabmagnete und dann beide zusammen in den Bügel und bestimme jedesmal, um wieviel die obere Marke auf der Skala verstellt werden muß, damit der Magnetstab bzw. die Stäbe wieder in den Meridian gebracht werden. Man vergleiche die drei Resultate miteinander und die zwischen ihnen gefundene Beziehung mit der in den vorhergehenden Versuchen gefundenen.

Wenn man die magnetische Kraft, mit welcher zwei Magnetpole sich beeinflussen, mit K, die Magnetismusmengen der beiden aufeinander einwirkenden Pole mit m bzw. m' und mit k_2 eine Konstante bezeichnet, wie lautet dann nach der durch diese Experimente als berechtigt erwiesenen Definition der Magnetismusmenge die Beziehung zwischen diesen Größen?

85. Coulombsches Gesetz. In welche gemeinschaftliche Formel lassen sich, wenn mit k eine Konstante bezeichnet wird, die beiden gefundenen Gesetze über die Abhängigkeit der Kraft erstens von der Entfernung, zweitens von der Magnetismusmenge einkleiden (7)? Welche einfache Form nimmt diese Formel an, wenn man die Kon-

stante gleich Eins setzt, d. h. als Einheit der Magnetismusmenge diejenige wählt, welche auf die ihr gleiche, von ihr um die Einheit der Länge durch Luft getrennte Magnetismusmenge die Kraft Eins ausübt? Welches Vorzeichen erhält K, je nachdem die aufeinander wirkenden Magnetpole gleichnamigen oder ungleichnamigen Magnetismus enthalten?

86. Zahl der von einem Pol ausgehenden Kraftlinien. Um einen Magnetpol m denke man sich eine Kugel. Man vergleiche die Kraft, mit welcher nach dem Coulombschen Gesetz ein ungleichnamiger Pol m', welcher sich auf der Kugeloberfläche befindet, von jenem Pol m angezogen wird, für die verschiedenen Punkte der Oberfläche. Wie sind demgemäß die vom Pol m ausgehenden Kraftlinien, d. h. die Achsen der Kraftröhren (78, 4) auf der Kugel verteilt, und wie ändert sich ihre Zahl, wenn man zu einer Kugel von anderem Radius übergeht?

Man setzt deshalb die Zahl N der von einem Pol m ausgehenden Kraftlinien gleich dem Produkt aus der Oberfläche der Kugel mit dem Radius 1 in die Magnetismusmenge m des Poles, also $N = 4\pi m$.

87. Wägung magnetischer Kräfte. Man hänge an einer kräftigen Wage, deren eine Schale nur kurze Aufhängefäden besitzt und unten einen Haken trägt, an diesen einen kräftigen Magnet und bringe die Wage in das Gleichgewicht, oder man benutze eine Einrichtung ähnlich wie I, Fig. 92. Man stelle unter diesen Magnet einen anderen Stabmagnet vertikal so auf, daß gleichnamige Pole einander gegenüberstehen. Wie ändert sich das Gleichgewicht der Wage? Durch Auflegen von Gewichten bestimme man die Kraft, mit der beide Pole aufeinander einwirken.

Hat man für die benutzten Stäbe die Entfernung der Polpunkte von den Enden festgestellt (76, 2), so messe man die Entfernung der Polpunkte voneinander und suche das Coulombsche Gesetz zu bestätigen, indem man für verschiedene Entfernungen der Pole voneinander die Kraft wägt. Ebenso prüfe man das Coulombsche Gesetz für die Magnetismusmengen, indem man verschiedene Stäbe an die Wage hängt oder unter den aufgehängten stellt.

Man mache die eben erwähnte Hypothese, daß die Konstante des Coulombschen Gesetzes für Wirkung durch Luft gleich 1 sei, und messe, indem man den Polen zweier gleichen Magnetstäbe eine in Metern zu messende Entfernung voneinander gibt, die Magnetismusmengen der aufeinander einwirkenden Pole durch Gewicht und Länge nach *kg* und *m*.

88. Gegenseitige Einwirkung von Magneten. Wirkung eines Stabes auf eine Nadel. Abhängigkeit von der Entfernung. 1. Man lege nördlich von einer kurzen Magnetnadel, Magnetometer, einen Magnetstab in die Richtung des durch die Nadel gehenden magnetischen Meridians in einer Entfernung seines Mittelpunktes von der Mitte der Nadel, welche mindestens 5mal größer ist als die Länge des Stabes, beobachte die Schwingungszeit der Nadel und be-

rechne daraus ihr Richtungsmoment (I, 35) indem man wieder (83, 1) ihr Trägheitsmoment gleich Eins setzt. Man wiederhole die Beobachtung für andere Entfernungen der Mitten von Stab und Nadel voneinander und berechne jedesmal das Richtungsmoment. Dann zeichne man die Kurve, welche das Richtungsmoment als Funktion des reziproken Wertes einer Potenz der Entfernung darstellt. Welche Potenz muß man wählen, damit man eine gerade Linie erhält? Welche Bedeutung hat der Abschnitt der geraden Linie auf der Ordinatenachse? Man subtrahiere graphisch den Einfluß des Erdmagnetismus. Welche Abhängigkeit von der Entfernung ergibt sich dann aus den Beobachtungen für die Kraft zwischen einem Magnetstab und einer Magnetnadel?

Man wiederhole die Versuche und bestätige das gefundene Gesetz, indem man dem Stabmagnete zwar dieselbe Lage seines Mittelpunktes gibt, ihn aber um 180^0 dreht, ebenso, indem man ihn südlich vom Magnetometer hinlegt.

2. Man lege den Magnetstab in die durch die Mitte der Magnetometernadel gehende, zum magnetischen Meridian senkrechte, also Ost-West-Richtung (vergl. Fig. 133), messe mit Hilfe der Spiegelablesung (36) möglichst genau den Winkel, um welchen die Nadel aus ihrer Ruhelage, d. h. ihrer Lage ohne Einwirkung des Magnetstabes, abgelenkt wird, drehe den Magnetstab um 180^0, ohne seine Entfernung vom Magnetometer zu ändern, messe wieder den Winkel und nehme aus beiden Resultaten das Mittel. Man wiederhole dieselben Messungen für andere Entfernungen der Stabmitte vom Magnetometer und zeichne die Kurve, welche die Tangenten der Ablenkungswinkel als Ordinaten und die reziproken Werte der dritten Potenzen der Entfernungen als Abszissen enthält. Welche Abhängigkeit ergibt sich aus dieser Kurve zwischen Ablenkungswinkel und Entfernung?

Will man den einer bestimmten Entfernung zugehörigen Winkel noch genauer messen, so kann man zu den beiden Messungen auf der einen Seite vom Magnetometer noch zwei entsprechende Messungen in derselben Entfernung auf der anderen Seite vornehmen und aus allen vieren das Mittel bilden.

Man bezeichnet diese Anordnung von Magnetstab und Magnetnadel, in welcher der Mittelpunkt des Stabes in der durch die Mitte der Nadel gehenden Ost-West-Richtung liegt und selbst ost-westlich gerichtet ist, als erste Hauptlage.

3. Man lege die Mitte des Magnetstabes in den durch das Magnetometer gehenden Meridian, ihn selbst aber wieder ost-westlich (zweite Hauptlage). Man messe den Ablenkungswinkel für verschiedene Entfernungen, indem man auch hier wieder aus zwei oder aus vier Beobachtungen für dieselbe Entfernung das Mittel nimmt, und zeichne wieder die Kurve mit denselben Koordinaten wie im vorigen Versuch. Erhält man hier für die Abhängigkeit der Kraft von der Entfernung dasselbe Gesetz? Wie verhalten sich die einer bestimmten Entfernung zugehörigen Tangenten der Ablenkungswinkel in den beiden

Hauptlagen, wenn in beiden derselbe Stab und dieselbe Nadel benutzt werden?

89. Gegenseitige Einwirkung von Magneten. Wirkung eines Stabes auf eine Nadel. Abhängigkeit vom Winkel, welchen die Verbindungslinie der Mitten von Stab und Nadel mit diesen bildet. Man zeichne um die Mitte der Nadel einen Kreis mit einem Radius, der so groß ist, daß man den Teil des Feldes des zu benutzenden Stabes, in welchem sich die Nadel befindet, als homogen betrachten darf (79, 3), aber auch nicht zu groß, damit die Einwirkungen auf die Nadel noch groß genug werden; man wähle ungefähr die 6 bis 8fache Länge des Stabes. Auf diesem Kreise führe man die Mitte eines Magnetstabes herum, während der Stab selbst stets die Ost-West-Richtung beibehält (Fig. 153), und messe jedesmal die Einstellung der Nadel. Man zeichne die Beobachtungen in ein Koordinatennetz, indem man als Abszissen die von irgendeinem Punkt an gezählten Winkel jenes Kreises und als Ordinaten die zugehörigen beobachteten Tangenten der Nadelablenkung einzeichnet. Wieviel Maxima und Minima hat die Kurve für einen vollen Umgang des Stabes um das Magnetometer? Wie verhalten sich die positiven Maxima zu den absolut genommenen Werten der Minima? Man vergleiche die Lagen, in welchen man die Maxima und Minima erhält, mit den oben benutzten beiden Hauptlagen.

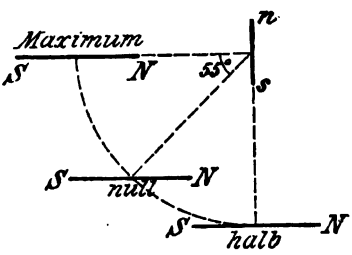


Fig. 153.

90. Gegenseitige Einwirkung von Magneten. Wirkung eines Stabes auf eine Nadel. Abhängigkeit von der Magnetismusmenge. Man führe nach einer der in 88 beschriebenen Methoden für eine bestimmte Entfernung die Messung der Einwirkung auf die Magnetnadel für zwei Magnetstäbe durch, zuerst einzeln, dann, nachdem sie zu einem vereinigt sind. Wie verträgt sich das gefundene Resultat mit der aus der Definition der Magnetismusmenge (84, 1) folgenden Beziehung zwischen Magnetismusmenge und Kraft?

91. Coulombsches Gesetz Man bezeichne mit $+m$ und $-m$ die Magnetismusmengen der beiden Pole des Stabmagnetes, mit m' die des einen Poles der Nadel, mit r die Entfernung der Mitten von Stab und Nadel, mit l die Länge des Stabes, d. h. die Entfernung seiner Pole voneinander, und nehme an, daß die Nadel so kurz sei, daß ihre Pole mit ihrem Mittelpunkt zusammenfallen. Man berechne nach dem Coulombschen Gesetz (85) die Wirkung eines Poles des Stabes auf den einen Pol der Nadel, wenn beide die erste Hauptlage haben. Ebenso berechne man die Wirkung des anderen Poles des Stabes auf denselben Pol der Nadel, vereinige dann beide Ausdrücke und berücksichtige dabei, daß die Entfernung r so groß ist, daß man $\frac{1}{4}l^2$ neben r^2 vernachlässigen darf (2, 4). In der so

erhaltenen Formel kommt das Produkt der Magnetismusmenge m eines Poles des Stabes in die Entfernung l beider Pole des Stabes voneinander vor; hierfür führe man die Bezeichnung magnetisches Moment M des Stabes ein, setze also $M = ml$. Auf den anderen Pol der Nadel wirkt eine genau gleiche, aber wegen des ungleichnamigen Magnetismus entgegengesetzt gerichtete Kraft ein. Man bezeichne die sehr kurze Länge der Nadel mit l' und berechne die Summe der statischen Momente (I, 14) der beiden auf die Pole der Nadel ausgeübten Kräfte in bezug auf den Mittelpunkt der Nadel, indem man annimmt, daß diese Kräfte auf der Nadel senkrecht ständen. Welchen Ausdruck erhält man schließlich für die als Drehmoment D der Nadel unter dem Einfluß des Stabes bezeichnete Summe der statischen Momente, wenn man noch das magnetische Moment $M' = m'l'$ der Nadel einführt?

Wie ist auf Grund der Versuche 88,3 und 89 das Drehmoment der Nadel unter dem Einfluß des Stabes in der zweiten Hauptlage?

92. Messung der Horizontalkomponente des Erdmagnetismus. 1. Messung ihres Verhältnisses zu einem magnetischen Moment. Man lege in bezug auf eine kurze Magnetnadel, Magnetometernadel, einen Magnetstab in die erste Hauptlage. Wie groß ist die Kraft K (91), welcher dieser Stab auf den einen Pol P der Nadel ausübt (Fig. 154)? Welche Richtung hat diese Kraft, wenn man beachtet, daß die Nadel so kurz und die Entfernung so groß ist, daß man die beiden Pole der Nadel als mit dem Mittelpunkt zusammenfallend betrachten darf?

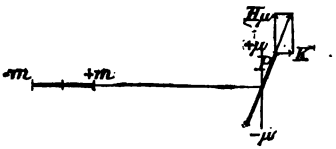


Fig. 154.

Man bezeichne die auf die Einheit der Magnetismusmenge eines Poles wirkende Horizontalkomponente des Erdmagnetismus, d. h. die in die horizontale Ebene, also in die Ebene der Deklinationsnadel fallende Kompomente der Gesamtkraft mit H. Welche Kraft erleidet dann derselbe Pol der Nadel durch die Horizontalkomponente, und wie ist diese Kraft gerichtet? Welche Richtung haben somit die beiden an einem Pol angreifenden Kräfte K und $H\mu$ gegeneinander, und welche ihre Resultante, wenn die Nadel zur Ruhe gekommen ist.

Welche Gleichung ergibt sich aus dem rechtwinkligen Dreieck, welches die beiden Kräfte $K = 2\frac{\mu M}{r^3}$ und $H\mu$ mit ihrer Resultante bilden, zwischen ihnen und dem Winkel α, um den die Nadel aus der Nord-Süd-Richtung abgelenkt ist. Man bilde aus dieser Gleichung einen Ausdruck für $\frac{M}{H}$.

Man beobachte für verschiedene Entfernungen des Stabes von der Nadel in den beiden Hauptlagen den Winkel α und berechne daraus das Verhältnis des magnetischen Momentes des benutzten Stabes zur Horizontalintensität, oder man entnehme aus dem Beobachtungsproto-

koll 88, 2 eine Reihe von Beobachtungen und berechne daraus das Verhältnis.

2. Bestimmung von $M \cdot H$. Man hänge den zur Bestimmung von $\frac{M}{H}$ benutzten Stabmagnet in seiner Mitte an einem Seidenfaden so auf, daß er in einer horizontalen Ebene schwingen kann, lasse ihn schwingen und bestimme die Schwingungsdauer t. Dann bestimme man sein Trägheitsmoment T nach der in I, 49 angegebenen Methode und berechne das Richtungsmoment MH mit Hilfe der Formel $t = 2\pi\sqrt{\frac{T}{MH}}$, worin M das magnetische Moment des Stabes und H die Horizontalkomponente des Erdmagnetismus bedeuten.

3. Aus den für $M:H$ und MH gefundenen Werten berechne man die Horizontalkomponente H und das magnetische Moment des Stabes.

4. Man berechne aus der gefundenen Horizontalkomponente mit Hilfe des Inklinationswinkels (82) die Totalintensität des Erdmagnetismus am Beobachtungsort.

5. Man stelle das Magnetometer an verschiedenen Stellen eines Zimmers auf, bestimme jedesmal die Schwingungsdauer und vergleiche die gefundenen Werte miteinander; dabei achte man darauf, daß sich in der Nähe des Apparates kein Eisen befindet. Wie verhält sich nach diesen Beobachtungen die Horizontalkomponente des Erdmagnetismus an verschiedenen Stellen des Zimmers, und wie kann man daraus mit Hilfe des Begriffes des Kraftflusses (78, 4) nachweisen, daß innerhalb des Zimmers das Kraftfeld der Erde homogen ist.

93. Bestimmung des magnetischen Momentes von Magneten. 1. Man bestimme, wenn M das magnetische Moment eines Magnetstabes und H die Horizontalintensität des Erdmagnetismus bedeuten, entweder das Produkt MH nach der Methode der Schwingungen oder den Quotienten $M:H$ nach der Methode der Ablenkungen und berechne M, indem man den früher für H gefundenen Wert einsetzt.

2. Man vergleiche das Moment eines Magnetstabes mit dem bekannten Moment eines anderen Stabes, indem man in einer der beiden Hauptlagen (88, 2 u. 3) entweder die Ablenkung der Nadel für beide in gleicher Entfernung vom Magnetometer hingelegte Magnete mißt, oder indem man die Entfernungen sucht, in welchen beide die gleiche Ablenkung hervorrufen.

3. Man bestimme das magnetische Moment einer möglichst gleichmäßig magnetisierten Stricknadel, breche sie dann in zwei Teile und bestimme deren Momente. Eine andere Stricknadel, deren Moment man bestimmt hat, breche man in drei Teile und bestimme deren Momente. In welcher Abhängigkeit steht nach diesen Beobachtungen das Moment eines Magnetstabes von seinem Volumen? Man bezeichnet das Verhältnis des magnetischen Momentes eines Stabes zu seinem Volumen als Intensität der Magnetisierung. Welche Gesetz-

mäßigkeit hat sich aus den eben angestellten Versuchen für die Intensität der Magnetisierung der Stricknadeln ergeben?

Wie kann man für einen Magnetstab von konstantem Querschnitt, Stricknadel, die Definition der Intensität umformen, wenn man sich der Definition des magnetischen Momentes (91) und der Beziehung zwischen Volumen und Querschnitt erinnert?

94. Einfluß des Erdmagnetismus auf unmagnetisches Eisen. Man halte einen längeren Stab aus weichem Eisen in die Richtung der Deklinationsnadel und untersuche mittelst einer Magnetnadel die Enden des Stabes. Dann drehe man den Stab um und stelle dieselbe Untersuchung an. Dann halte man den Stab wagerecht, rechtwinklig zur Ebene des magnetischen Meridians, und suche wieder die Pole. Welchen Einfluß hat hiernach der Erdmagnetismus auf unmagnetisches Eisen? Diese Versuche gelingen besser, wenn man vor jedem einzelnen Versuche den Stab in der Richtung, in der er benutzt werden soll, durch leichte Hammerschläge erschüttert (Fig. 155). In welcher Lage muß der Stab aufbewahrt werden, wenn er unmagnetisch bleiben soll?

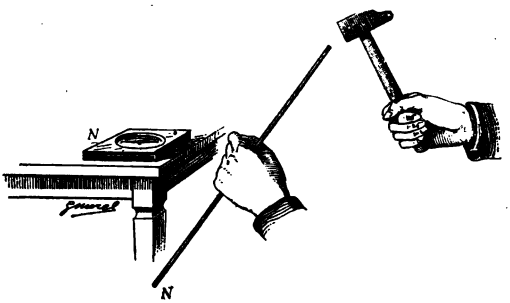


Fig. 155.

Man untersuche die wagerechten und senkrechten Gasleitungsröhren auf Magnetismus. Ebenso weise man nach, daß eisernes Handwerkszeug durch längeres Liegen magnetisch geworden ist. Man achte aber bei dieser Prüfung darauf, daß nur das Abstoßen einer Magnetnadel Beweis für vorhandenen Magnetismus ist.

95. Elektrisierung. 1. Man reibe ein Stück Schwefel oder Wachs oder einen Hartgummistab mit einem wollenen Tuch oder

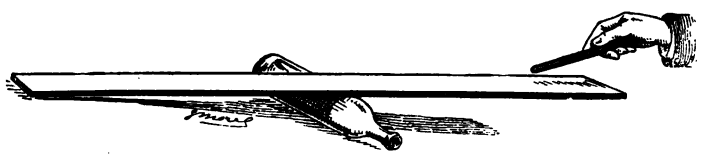


Fig. 156.

Fig. 157.

einem Katzenfell, einen polierten oder einen durch Schmirgelpapier matt gemachten Glasstab mit einem leinenen oder seidenen Tuch oder auch ein Stück Papier, das man, um es zu trocknen, stark erhitzt hat, zwischen den Fingern, bringe in die Nähe dieser geriebenen Körper leichte Gegenstände, wie Papierschnitzel, Asche oder Stückchen

von Holundermark, und beobachte ihr Verhalten. — 2. Man bringe ein großes flaches Lineal auf einer liegenden Flasche ins Gleichgewicht. Welche Erscheinung beobachtet man, wenn man dem einen Ende des Lineals einen geriebenen Glas- oder Hartgummistab nähert (Fig. 156)? — 3. Man hänge einen Glas- oder Hartgummistab mittels eines kleinen Metallbügels an einem Seidenfaden horizontal auf (Fig. 157), nähere seinem einen Ende einen geriebenen Körper und beobachte die Bewegung des Stabes. Man wiederhole den Versuch derart, daß man den Stab stark reibt und ihm dann einen ungeriebenen Körper nähert.

Man nennt die Körper, welche durch Reiben die Eigenschaft angenommen haben, andere leichte Körper anzuziehen oder sich von ihnen anziehen zu lassen, elektrisiert oder elektrisch. Andere Mittel, einen Körper elektrisch zu machen, zu elektrisieren, werden noch angegeben werden. Die Ursache dieser Eigenschaft nennt man Elektrizität.

96. Verschiedene Arten der Elektrizität. 1. Man werfe eine Anzahl kleiner, aus Aluminiumfolie geschnittener Stückchen hoch und

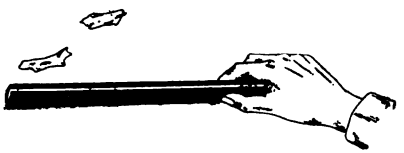


Fig. 158.

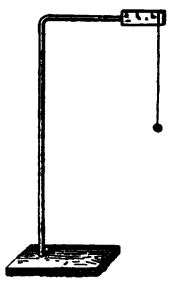


Fig. 159.

gehe ihnen mit einem geriebenen Glas- oder einem geriebenen Hartgummistabe nach (Fig. 158). Wie verhalten sich die Stückchen vor und nach ihrer Berührung mit dem Stabe. Dann gehe man den hochgeworfenen Stückchen gleichzeitig mit beiden parallel gehaltenen geriebenen Stäben nach und beobachte das Verhalten der zwischen beide Stäbe kommenden Aluminiumstückchen. Wodurch unterscheidet sich ihr Verhalten jetzt von dem, wenn nur ein Stab vorhanden ist?

2. Man biege einen Glasstab auf etwa ein Drittel seiner Länge rechtwinklig um, stelle den längeren Schenkel auf ein Brett, befestige am anderen Schenkel ein längliches Paraffinklötzchen und hänge an diesen einen Seidenfaden an, der am Ende eine Holundermarkkugel trägt (Fig. 159). Man nähere diesem „elektrischen Pendel“ einen geriebenen Glasstab; wie verhält es sich vor und nach erfolgter Berührung? Dann stelle man, nachdem man die Kugel mit den Fingern berührt hat, denselben Versuch mit einem geriebenen Hartgummistab an; erkennt man einen Unterschied im Verhalten der Kugel? Ohne die eben mit dem Hartgummistab in Berührung gewesene Kugel mit

den Fingern zu berühren, nähere man ihr abwechselnd einen geriebenen Hartgummistab (Fig. 160) und einen geriebenen Glasstab (Fig. 161), jede Berührung sorgfältig vermeidend. Wie verhält sich die Kugel gegen die Stäbe? Man berühre die Kugel mit den Fingern, berühre sie dann mit einem geriebenen Glasstab und nähere ihr wiederum abwechselnd einen elektrischen Glas- und Hartgummistab. Wie verhält sich die Kugel jetzt gegen die beiden Stäbe?

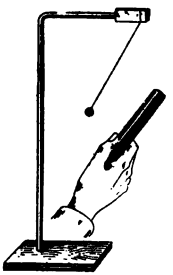


Fig. 160.

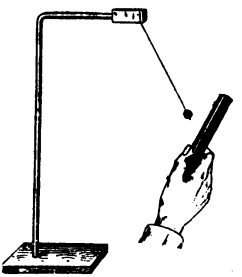


Fig. 161.

3. Man stelle sich ein elektrisches Doppelpendel her, indem man über den Paraffinklotz zwei gleichlange Seidenfäden so hängt, daß die beiden an den Enden der Fäden sitzenden Holundermarkkugeln sich berühren können. Wie verhalten sie sich zueinander, nachdem sie mit einem geriebenen Glas- oder Hartgummistab berührt worden sind? Man bringe zwischen die durch Berührung mit einem geriebenen Stab elektrisierten Kugeln von unten her einmal einen Glas-, dann einen Hartgummistab. Welche Bewegungen führen die Kugeln aus?

Was folgt aus diesen Versuchen in bezug auf die Elektrizität des geriebenen Glasstabes und der durch Berührung mit ihm elektrisierten Körper im Vergleich mit der Elektrizität des geriebenen Hartgummistabes und der durch Berührung mit diesem elektrisierten Körper? Man nennt die Elektrizität, welche sich so verhält wie die des Glasstabes, Glas- oder positive Elektrizität, die, welche sich wie die des Hartgummistabes verhält, Harz- oder negative Elektrizität.

Man formuliere die beobachteten Regelmäßigkeiten der Anziehung und Abstoßung der beiden Elektrizitätsarten zu einer einfachen Regel.

97. Erkennung der Art der Elektrizität. 1. Man bestreue zwei geriebene Stäbe aus Glas oder Hartgummi, welche man dicht nebeneinander hält, mit einem Gemisch von Schwefel und Mennige, das man entweder mit einem Gebläse über sie hinwegbläst oder besser aus einem mit Gaze verschlossenen Gefäß auf sie pudert. Welcher Stab wird rot, welcher gelb? Welche Elektrizität hält also den Schwefel, welche die Mennige fest?

Man reibe irgendeinen Körper an einem anderen und bestreue ihn mit Schwefelmennigepulver. Welche Elektrizität hat er, wenn er den Schwefel, welche, wenn er die Mennige festhält?

2. Man berühre das einfache oder das Doppelpendel mit einem geriebenen Glasstab. Dann nähere man dem Pendel einen anderen geriebenen Körper. Besitzt dieser dieselbe oder die andere Art der Elektrizität, wenn Abstoßung erfolgt?

98. Das Goldblattelektroskop. Empfindlicher als die eben benutzten Fadenpendel zum Erkennen, ob ein Körper elektrisch ist oder nicht, sind die im Prinzip ähnlichen Goldblattelektroskope.

Um ein solches herzustellen, benutze man einfach eine kleine Laterne aus Weißblech (Fig. 162), deren Deckel man entfernt und durch eine kleine Platte aus Paraffin ersetzt. Mitten durch das Paraffin führe man vertikal einen runden Messingstab, dessen unteres Ende man an zwei gegenüberliegenden Seiten abgeflacht hat. An die eine Fläche löte man ein flaches Messingstäbchen in vertikaler Richtung an, an der anderen Fläche befestige man ein ebenso langes Streifchen Goldschaum oder Aluminiumfolie. Man schneide zu diesem

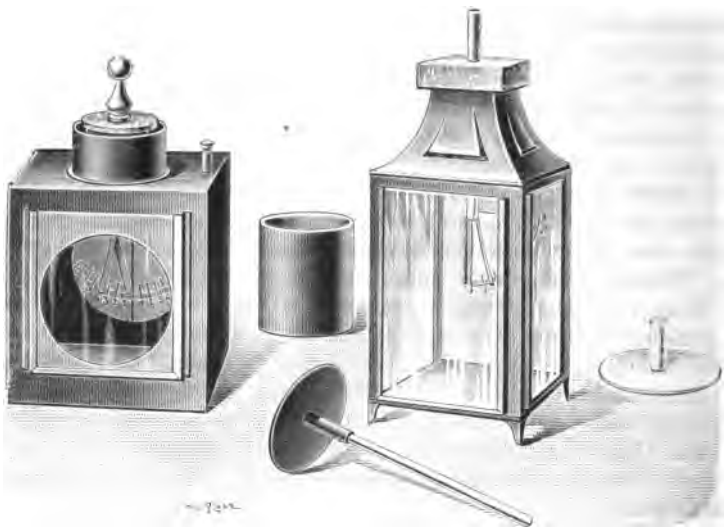


Fig. 162.

Zweck aus dem kleinen Heftchen, in welchem der Goldschaum käuflich ist, vorsichtig einen Streifen zugleich mit dem auf beiden Seiten liegenden Papier heraus, drücke das eine freigelegte Ende des Goldblattstreifens gegen die mit einer Spur Seife belegte Fläche des oberen Messingstabes und entferne dann vorsichtig die beiden Papierstreifen. Vielfach wird an Stelle des flachen Messingstäbchens ein zweites Goldblättchen angeklebt (vergl. Fig. 162 links). Das oben herausragende Ende des Messingstabes versehe man mit einem Gewinde, um eine Kugel, eine Platte oder einen kleinen Eimer aufschrauben zu können. Die Ritzen zwischen dem Glas und dem Metall der Laterne verkitte man, um Luftströmungen zu vermeiden.

Ist an dem die Goldblättchen tragenden Messingstab nicht schon eine bogenförmige Skala angebracht, so kann man sich eine für einfache Messungen ausreichende Skala bequem herstellen, indem man

einen auf weißem Grund aufgezeichneten und hell beleuchteten Maßstab so vor das Elektroskop stellt (Fig. 163), daß das von der Glasscheibe entworfene Bild in die Ebene, in welcher sich die Goldblätter bewegen, zu liegen kommt (13, 2).

Man kann auch eine Glasflasche zu einem Elektroskop herrichten, indem man durch den Stopfen der Flasche das mit Schellack

Fig. 163.

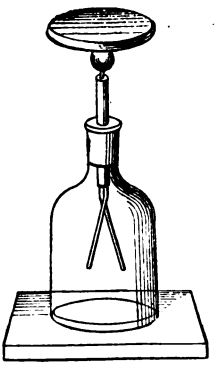


Fig. 164.

in ein Glasröhrchen eingekittete Messingstäbchen führt, welches unten als Pendelpaar zwei Streifchen aus Goldschaum besitzt (Fig. 164).

Man berühre den Stab des Elektroskopes mit einem nur wenig geriebenen Glasstab. Wie verhalten sich die Blättchen (96, 3)? Man berühre dann mit einem nur wenig geriebenen Hartgummistab und beobachte wieder recht sorgfältig die Bewegung der Blättchen.

99. Spannungsreihe. Man reibe je zwei der folgenden Körper miteinander: Haare (Katzenfell, Fuchsschwanz), poliertes Glas, Wolle, Papier (trocken), Seide, mattes Glas, Kautschuk, Harze (Siegellack), Bernstein, Schwefel, Metalle, Kollodium (Schießbaumwolle) und prüfe, welcher vom geriebenen Paar positiv, welcher negativ geworden ist. Dann ändere man die Reihenfolge und untersuche wieder, welche Art von Elektrizität der einzelne Körper angenommen hat. Auf Grund dieser Beobachtungen ordne man die Körper so in eine Reihe, daß jeder folgende, wenn er mit einem vorhergehenden gerieben worden ist, positiv, der vorhergehende aber negativ elektrisch ist.

Man vergleiche die Leichtigkeit, mit welcher zwei Stoffe, welche in dieser sogenannten Spannungsreihe der Reibungselektrizität weit voneinander stehen, den elektrischen Zustand annehmen, mit der, mit welcher zwei nahe beieinander stehende elektrisch werden.

100. Leiter und Nichtleiter. 1. Man reibe einen in der Hand gehaltenen Metallstab oder -rohr und nähere ihn einem elektrischen Pendel oder Elektroskop. Dann versehe man den Metallstab mit einem gläsernen Griff, befestige ihn an einem trockenen

Glasstab (Fig. 165), reibe den Metallstab, während man den Griff in die Hand nimmt, und wiederhole den Versuch. Welchen Unterschied zeigen beide Versuche? Man berühre das geriebene Metall mit der Hand; welchen Einfluß hat der Stab jetzt auf das Pendel oder Elektroskop? Wodurch ist die Elektrizität „zur Erde geleitet"? — 2. Man nähere einem stark geriebenen Hartgummistab kleine Stückchen Blatt- oder Rauschgold, wenn diese einmal auf Glas, ein anderes Mal auf Metall liegen. In welchem Falle folgen die Stückchen dem Stab? — 3. Man lade das Elektroskop, indem man es mit einem geriebenen Stabe berührt, und berühre es dann mit der Hand oder mit Metall, Fischbein, Hartgummistab, Siegellack. Wie verhalten sich in diesen Versuchen die Zeiten, in denen das Elektroskop seine elektrische Ladung verliert, „entladen" wird? — 4. Verfügt man über zwei Elektroskope, so verbinde man sie durch einen der genannten Stoffe, berühre dann das eine mit einem geriebenen Stab und beobachte, ob das andere sich lädt oder nicht.

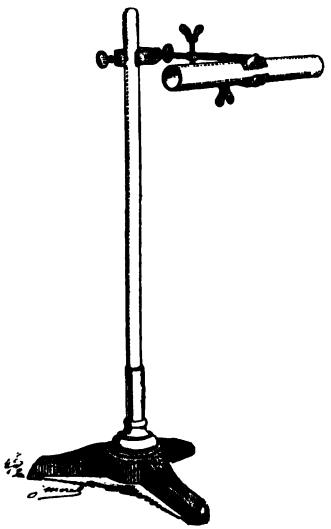


Fig. 165.

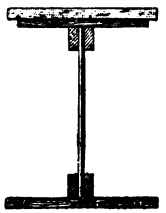


Fig. 166.

Fig. 167.

Wie kann man hiernach die Körper in bezug auf ihre Fähigkeit, Elektrizität fortzuleiten oder nicht fortzuleiten, einteilen?

Warum sind in den bisher benutzten Apparaten Glas, Seide, Paraffin verwendet worden? Man stelle sich unter Benutzung dieser Stoffe (Isolatoren, Dielectrica) isolierende Unterlagen her, z. B. ein Tischchen, das auf einem Glasfuß ruht und eine Paraffinplatte trägt (Fig. 166), oder ein Stativ, indem man in eine Flasche flüssiges Paraffin bringt und in dieses einen Glasstab stellt (Fig. 167).

101. Die Reibungselektrisiermaschine. Auf einer wagerechten gläsernen Achse (Fig. 168) ist eine Glasscheibe befestigt; diese wird mittels einer Kurbel in der Richtung des Pfeiles gedreht und dadurch zwischen zwei federnd gegen sie drückende Lederkissen durchgezogen und an ihnen gerieben. Die Reibkissen sind mit einer Mischung von 1 Teil Zinn, 1 Teil Zink und 2 Teilen Quecksilber überzogen (99). Das Reibzeug ist mit einer auf einem Glasfuß befestigten

hohlen Messingkugel metallisch verbunden, die durch eine Kette mit der Erde in leitende Verbindung gebracht werden kann. Auf der dem Reibzeug gegenüberliegenden Seite der Glasscheibe geht diese zwischen zwei Holzringen hindurch, welche an einer von einem Glasfuß getragenen hohlen Messingkugel befestigt sind; an den Holzringen sind auf der der Glasscheibe zugekehrten Seite in einer mit Stanniol ausgekleideten Rinne metallene Spitzen angebracht. Das Stanniol in den Rinnen ist mit der die Ringe tragenden Messingkugel metallisch verbunden. Die untere Hälfte der Glasscheibe wird vorn und hinten von einem halbkreisförmigen Streifen aus einem nichtleitenden Stoff, Wachstaft oder Seide, bedeckt.

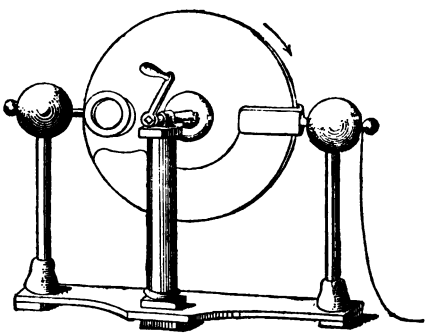


Fig. 168.

Man setze die Maschine in Gang und untersuche mittels Elektroskopes und geriebener Glas- oder Hartgummistange, welche Elektrizität die Glasscheibe und das (nichtabgeleitete) Reibzeug besitzen.

Man untersuche die Elektrizität des die Holzringe tragenden Konduktors. Ist sie positiv oder negativ? Welchen Einfluß hat die Elektrizität des Reibzeuges auf die durch die Drehung fortbewegte Elektrizität der Scheibe, und welchen Zweck hat demnach die Ableitung des Reibzeuges?

Man befestige ein Papierbüschel an einem leitenden Stäbchen und stelle dieses auf den positiven Konduktor. Warum breitet sich beim Drehen der Maschine das Papierbüschel schirmartig auseinander? — Man stelle eine Person auf einen Isolierschemel oder lasse sie Gummischuhe anziehen und lasse sie die Hand auf den Konduktor der in Bewegung gesetzten Maschine halten. Warum sträuben sich die Haare? Man ziehe Funken aus dem Körper der Person und beobachte bei jedem Funken ihre Haare. — Man bringe in ein Glasrohr, das oben und unten mit Metallböden verschlossen ist, Holundermarkkugeln, stelle es auf eine mit der Wasserleitung verbundene Metallscheibe, verbinde die obere Metallplatte mit dem Konduktor und setze die Maschine in Gang. Welchen Einfluß hat der untere Metallboden auf den Kugeltanz? Man wiederhole den Versuch, nachdem man das Gefäß auf eine Glasscheibe gesetzt hat. — Man halte mittels eines isolierenden Handgriffes das eine Ende eines Drahtes, an dessen anderem Ende ein mit Wasser gefüllter Schwamm befestigt ist, an den Konduktor und beobachte das Ausspritzen der Wassertropfen. Sind diese mit dem Konduktor gleichnamig geladen? — Man bringe in das vorher benutzte Glasgefäß Tabakrauch oder Salmiaknebel und beobachte diesen, wenn dem Deckel die Elektrizität des Konduktors zugeführt wird. — Man fülle einen mit

kapillarer Öffnung versehenen Metalltrichter so weit mit Wasser, daß dieses noch nicht ausfließt. Dann elektrisiere man den Trichter. — Man wiederhole I, 82.

Welche Einwirkung aufeinander zeigen in allen diesen Versuchen gleichnamig elektrisierte Körper? (96).

102. Elektrizitätsmenge. Man stelle zwei genau gleichgroße Hohlkugeln aus Metall oder mit Stanniol beklebte Glas- oder Holzkugeln (Konduktorkugeln) isoliert auf, mache die eine durch einen geriebenen Glas- oder Hartgummistab elektrisch, berühre die Kugel mit dem Stabe des Elektroskopes und beobachte die Größe des Ausschlages. Dann lasse man beide Konduktorkugeln sich berühren und bringe der Reihe nach jede mit dem Stabe des Elektroskopes in Berührung, nachdem dieser jedesmal mit der Hand ableitend berührt worden war. Man vergleiche die beiden zuletzt erhaltenen Ausschläge des Elektroskopes miteinander und mit dem ersten. In welcher Weise hat sich demnach die Ursache des elektrischen Zustandes, die Elektrizität, der durch Berührung mit dem geriebenen Stab elektrisierten Kugel auf beide Kugeln verteilt? Man ist daher berechtigt, von Elektrizitätsmengen zu sprechen und diese in gewisser Beziehung wie Stoffmengen zu behandeln.

103. Eichen eines Goldblattelektroskopes. Man stelle sich kleine Probekugeln oder Probescheiben her (Fig. 169), indem man

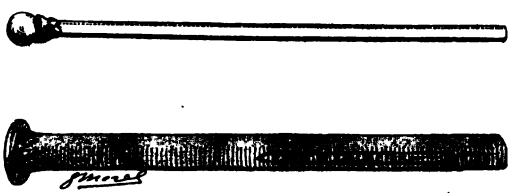


Fig. 169.

eine kleine Kugel oder Scheibe aus Metall auf einer Siegellack- oder mit Paraffin überzogenen Glasstange befestigt.

Auf das zu eichende Elektroskop schraube man einen kleinen Metalleimer bezw. eine nicht lackierte Metallplatte, auf welche man den Eimer stellt, lade eine grosse Konduktorkugel mit Elektrizität, berühre sie mit der Probekugel und bringe diese mit der Innenfläche des Eimers auf dem Elektroskop in Berührung (Fig. 170). Man lese den Ausschlag ab. Dann entlade man das Elektroskop durch Berühren mit den Fingern und führe nachher wieder mit derselben Probekugel vom geladenen Konduktor dem Elektroskope auf dieselbe Weise Elektrizität zu. Hat der Ausschlag dieselbe Größe? Was kann man aus der Beobachtung in bezug auf die durch die Probekugel oder Probescheibe übertragenen Elektrizitätsmengen schließen?

Man arbeite bei diesem und den nachfolgenden Versuchen recht schnell.

Man wiederhole den Versuch in der Art, daß man, nachdem man die Ladungsmenge einer Probekugel am Elektroskop festgestellt hat, vielleicht 20mal die Probekugel am Konduktor lädt und jedesmal mit den Fingern ableitend berührt und dann wieder eine Ladung der Probekugel am Elektroskop mißt. Wenn die Ladung der Probekugel wiederum innerhalb der Grenzen der Genauigkeit der Ablesung dieselbe ist, was folgt dann daraus in bezug auf das Verhältnis der Elektrizitätsmenge auf der Konduktorkugel zu einer einzelnen Ladung der Probekugel?

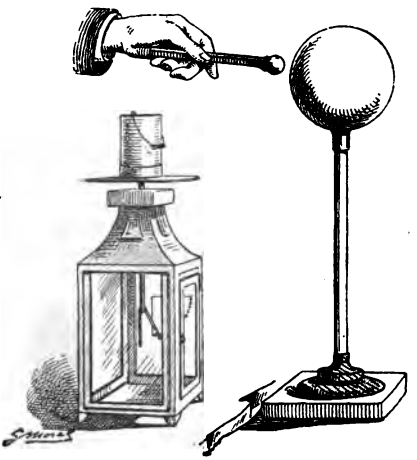


Fig. 170.

Man lade einen Konduktor, der so groß ist, daß seine Elektrizitätsmenge durch mehrfache Entnahme von Elektrizität mit Hilfe der Probekugel nicht merklich geändert wird, entnehme ihm mit einer Probekugel Elektrizität, die man dem Elektroskop in der oben angegebenen Weise zuführt, lese den Ausschlag ab, führe dann wieder mit der Probekugel Elektrizität zu, ohne aber inzwischen das Elektroskop abgeleitet zu haben, lese wieder ab und fahre so fort, bis man über die ganze Skala des Elektroskopes die gleichen zugeführten Elektrizitätsmengen entsprechenden Zunahmen des Ausschlages festgestellt hat.

Um ein Bild über die mit der Zeit eintretenden Verluste an Elektrizität zu haben, wiederhole man den letzten Versuch, indem man zwischen je zwei Berührungen mit der Probekugel eine bestimmte Zeit verstreichen läßt. Ob der Konduktor eine hinreichende Größe hat, prüfe man, indem man zwischen je 2 aufeinanderfolgende Ladungen des Elektroskopes durch die Probekugel eine bestimmte Anzahl, vielleicht 20, Ladungen der Probekugel aus dem Konduktor entnimmt, die man durch Berühren der Probekugel mit den Fingern oder Andrücken an Gas- oder Wasserleitung ableitet.

104. Gleichzeitige Erregung beider Elektrizitäten. 1. Man lege zwei gleichgrosse Blätter Papier aneinander und trockne sie stark über einer Gasflamme. Dann lege man die Blätter, ohne sie zu trennen, flach auf den Tisch und reibe das obere Blatt kräftig mit der Hand oder irgendeinem Gegenstand. Man hebe nun beide Blätter vorsichtig an einer Ecke hoch und berühre die beiden Außenflächen, um etwa hier sitzende Elektrizität abzuleiten. Die beiden Blätter bleiben zusammenhängend. Man reiße sie auseinander und untersuche beide auf Elektrizität.

2. Man reibe einen Hartgummistab durch einen an einem Seidenfaden hängenden kleinen Seidenbeutel (Fig. 171) oder durch Katzenfell, nähere einmal beide aneinander geriebene Körper gleichzeitig, dann getrennt dem elektrischen Pendel. In welchem Falle zeigt sich keine Wirkung?

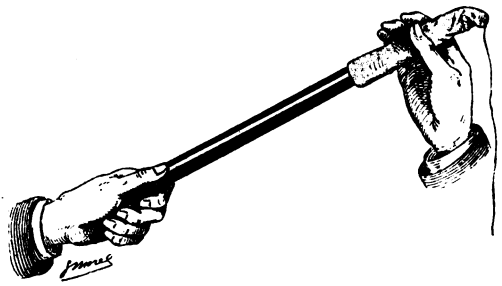


Fig. 171.

3. Man reibe zwei an Glasstäben befestigte Glasplatten (Fig. 172), von denen die eine mit Tuch belegt, die andere matt ist, gegeneinander, nähere wieder beide dem Pendel einzeln, oder indem sie sich gegenseitig berühren, und beobachte das Verhalten des Pendels.

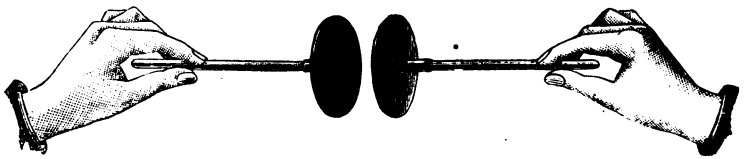


Fig. 172.

4. Man lege ein über der Flamme völlig getrocknetes Stück Papier auf die Platte des Elektroskopes (Fig. 173), reibe es durch

Fig. 173.

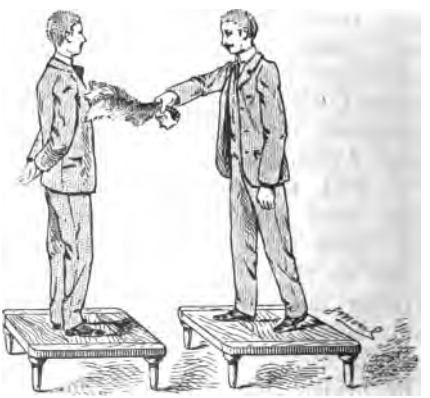


Fig. 174.

ein am Ende einer Siegellackstange befestigtes Stück von Katzenfell und beobachte das Elektroskop, wenn die beiden geriebenen Körper in Berührung bleiben bezw. voneinander getrennt sind.

5. Man lasse zwei Personen auf Isolierschemeln oder auf Brettern stehen, die auf je vier Paraffinstücken ruhen, und lasse die eine Person die andere durch Schlagen mit einem Katzenfell elektrisch machen (Fig. 174). Warum sträuben sich bei beiden die Haare? (96.) Man untersuche durch das elektrische Pendel oder das Elektroskop, ob beide Personen gleichnamige oder ungleichnamige Elektrizität besitzen. Man lasse beide Personen, nachdem sie elektrisch geworden sind, sich gegenseitig berühren, und untersuche sie dann mit einem empfindlichen Elektroskop. —

In welchem Verhältnis entstehen bei allen diesen Versuchen die Mengen der beiden Arten von Elektrizität?

105. Verteilung der Elektrizität. 1. Man hänge ein halbkugelförmiges Drahtnetz mit der Öffnung nach unten isoliert auf. Außen befestige man Holundermarkkugeln tragende Leinenfäden und Streifen aus Stanniol, Aluminiumfolie oder Rauschgold. Im Innern bringe man oben zwei nebeneinander hängende Leinenfäden mit Markkügelchen und ebenso zwei Rauschgoldstreifen an. Man berühre das Drahtnetz

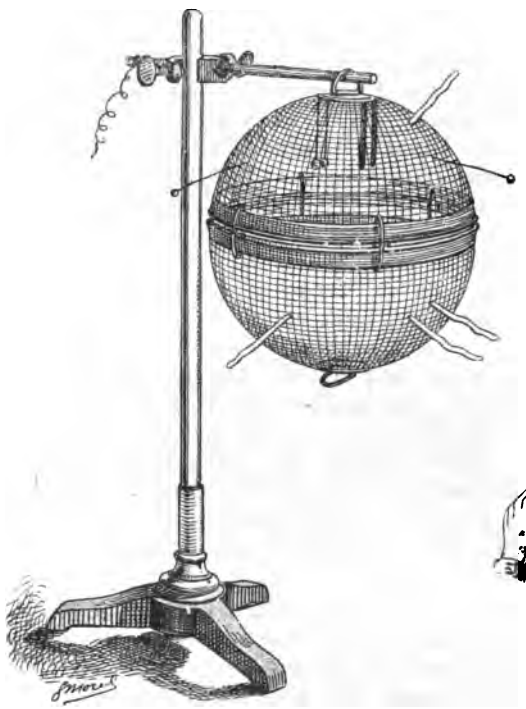


Fig. 175.

Fig. 176.

mit einem stark elektrischen Stab oder verbinde es mit der Konduktorkugel einer Elektrisiermaschine, beobachte das Verhalten der einzelnen Pendel und Streifen, insbesondere der inneren, je nachdem die Glocke unten ganz offen oder von einigen Drähten überspannt oder durch

eine andere Glocke in umgekehrter Lage (Fig. 175) verschlossen ist. In welchem Falle zeigen die inneren Pendel gar keine Elektrizität an?

2. Man lege auf ein Goldblattelektroskop ein kapuzenartig geformtes Blatt Stanniol so, daß es gleichzeitig den hervorstehenden Metallstab und die äußeren Metallteile berührt (Fig. 176). An letzteren befestige man zwei Stanniolstreifen. Man berühre das obere Stanniol mit einem geriebenen Stab. Wie verhält sich das Goldblättchen, wie die Stanniolstreifen?

3. Man lade eine isoliert aufgestellte Kugel, die oben eine Öffnung besitzt (Fig. 177), durch einen geriebenen Glas- oder Hartgummistab, berühre die Kugel mit einer kleinen Probescheibe oder Probekugel und prüfe die Probekugel an einem Elektroskop. Man entlade das Elektroskop und wiederhole den Versuch, indem man die Probekugel durch die Öffnung der großen Kugel führt, innen berührt und dann, ohne zu berühren, vorsichtig herauszieht. Wie verhält sich das Elektroskop? Um sich zu überzeugen, daß nicht etwa eine im Innern der Halbkugel befindliche isolierende Schicht die Entnahme von Elektrizität verhindert, stelle man den letzten Versuch so an, daß man mit der Probekugel die Hohlkugel erst außen und dann innen berührt. Was folgt aus diesen Versuchen über die Verteilung der Elektrizität auf der Hohlkugel?

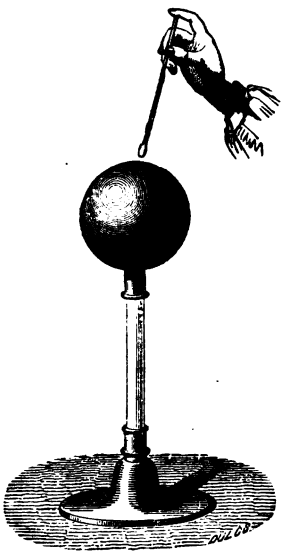


Fig. 177.

4. Man hänge oder stelle eine Kugel isoliert auf, lade sie und umschließe sie mit zwei mit isolierenden Griffen versehenen Hohlhalbkugeln. Auf welchen dieser drei Leiter befindet sich nach Entfernung der Hohlhalbkugeln die Elektrizität? Man stelle diesen Versuch auch in der Art an, daß man die Hohlhalbkugeln lädt, die Kugel ungeladen läßt und dann die Halbkugeln über die Vollkugel schließt.

5. Man befestige an einem Metallringe einen kugel- oder trichterförmigen Beutel aus Leinwand, der abwechselnd eingestülpt werden kann, so daß bald die eine, bald die andere Seite außen ist. Man hänge den Ring isoliert auf, mache ihn stark elektrisch und stülpe mittels eines Glas- oder Harzstabes den Beutel wiederholt ein. Man untersuche durch Probekugel und Elektroskop bei beiden Lagen des Beutels, ob sich die Elektrizität im Innern des Beutels oder außen befindet.

6. Man mache zwei genau gleichgroße, isolierte Metallkugeln, von denen die eine hohl, die andere massiv ist, elektrisch, während

sie sich berühren. Dann trenne man die Kugeln und vergleiche ihre Ladungen mittels Elektroskopes und Probekugel. —

Was folgt aus allen diesen Versuchen über den Ort, an welchen sich bei Leitern die Elektrizität ansammelt?

106. Oberflächendichte. 1. Man lege auf die Platte eines Elektroskopes eine metallene Kette, an deren einem Ende ein Seidenfaden befestigt ist, lade das Elektroskop und beobachte den Ausschlag, wenn man mit Hilfe des Seidenfadens die Kette hochhebt und wieder herunterläßt. Wie unterscheidet sich die Verteilung der unverändert gebliebenen Elektrizitätsmenge am Anfange und Schluß des Versuches von der bei hochgehobener Kette?

2. Man leime den Boden einer vergoldeten (bronzierten), zusammenlegbaren Papierlaterne (Spielzeug) auf ein kleines Brettchen, befestige auf diesem einen Kupferdraht, welcher mit der Laterne durch einen Stanniolstreifen verbunden ist und der ein Doppelpendel aus Leinenfäden trägt, und stelle die Laterne auf isolierende Glasfüße. Am oberen Rande der Laterne bringe man zwei Seidenfäden an, um sie auseinanderziehen zu können; zum Zusammendrücken benutze man auf den oberen Rand gelegte Bleiplatten. Man lege die Laterne zusammen, mache sie durch einen geriebenen Hartgummi- oder Glasstab elektrisch und beobachte den Ausschlag des Doppelpendels. Dann ziehe man die Laterne auseinander. Wie verhält sich das Pendel? Man lasse sie wieder zusammenfallen und beobachte das Pendel.

3. Das eine Ende einer rechtwinklig gebogenen hohlen Ebonitröhre verbinde man mit einem Gummiblasebalg, in dem anderen befestige man eine Metallröhre, an welcher man zwei Rauschgoldstreifen so angebracht hat, daß sie sich ziemlich nahe der Ebonitröhre befinden. Man tauche die etwas erweiterte Öffnung der Metallröhre in eine Seifenlösung, mache die Metallröhre stark elektrisch und erzeuge eine Seifenblase. Wie verhalten sich die Streifen, wenn die Blase größer oder kleiner wird? Man vergleiche die Größe der Ausschläge für zwei Blasen, von denen die eine einen doppelt so großen Radius hat wie die andere. —

In welcher Beziehung steht bei gleichbleibender Ladung die elektrische Dichte zur Größe der Oberfläche? Wie ändert sich nach diesen Versuchen die Dichte, mit welcher sich die Elektrizität auf der Oberfläche eines Leiters ansammelt, wenn diese sich ändert?

107. Verteilung der Dichte. 1. Man stelle einen zylindrischen Konduktor wagerecht und isoliert auf, lade ihn durch Berühren mit einem geriebenen Glas- oder Hartgummistab und prüfe durch Probekugel und Elektroskop die Dichte in der Mitte und an den Enden. — 2. Man verfertige sich einen Kegelkonduktor, indem man an die Enden eines weiten hohlen Metallzylinders zwei Kegel so anlötet, daß der eine seine Spitze nach außen, der andere nach innen richtet. Man lade ihn, entnehme durch eine Probekugel Elektrizität von verschiedenen Stellen und bringe sie in das auf das Elektroskop gesetzte

Eimerchen. Welche Verteilung der Elektrizität auf dem Konduktor beobachtet man? — 3. Man befestige an einer Probekugel einen senkrecht zum Griff stehenden kurzen Neusilberdraht, der am Ende zwei Rauschgoldstreifen trägt, und gehe mit der Probekugel an dem Konduktor entlang. Man beobachte, wie die Pendelstreifen je nach der in dem berührten Punkte vorhandenen Dichte auseinandergehen. — 4. Man verfertige sich einen abgestumpften Hohlkegel aus Messingblech und schließe die beiden Ecken durch aufgelötete Hohlhalbkugeln. Diesen Hohlkegel stelle man mittels Siegellackstangen isoliert so auf einem Brett auf, daß die Achse wagerecht liegt. Auf demselben Brett stelle man wagerecht einen aus Draht bestehenden Rahmen auf, der die Form des Achsenschnittes des Konduktors besitzt, aber etwas größer ist und auch etwas höher liegt als dieser. An dem gut mit Siegellack überzogenen Drahte befestige man mehrere seidene Holundermarkpendel von solcher Länge, daß die kleinen Kugeln genau in der Höhe des horizontalen Achsenschnittes liegen, aber ein klein wenig vom Umfange desselben entfernt. Man elektrisiere den Kegelkonduktor, so daß die Pendelkugeln zuerst angezogen und dann abgestoßen werden, und beobachte die verschiedenen Ausschläge.

Welches Gesetz kann man aus diesen Versuchen über die Verteilung der elektrischen Dichte auf gleich oder ungleich stark gekrümmten Oberflächenteilen eines geladenen isolierten Leiters ableiten? Man erinnere sich hierbei des Begriffes der Krümmung und ihres Maßes (I 101 und 102).

108. Coulombsches Gesetz. Elektrisches Pendel. Man verfertige aus Goldblatt zwei genau gleichgroße, sehr leichte Kugeln, deren Durchmesser wenigstens zehnmal so groß sind wie der einer Probekugel. Man befestige die eine Kugel am Ende eines Ebonitstabes und stelle letztere mit nach oben gerichteter Kugel vertikal. Die andere Kugel hänge man an einem möglichst langen Seidenfaden so auf, daß beide Kugeln sich von der Seite gerade berühren. Hinter beide Kugeln stelle man eine Millimeterskala. Durch einen Gehilfen lasse man einen Konduktor, welcher aus einem spitzen Kegel besteht, dessen Basis durch eine Halbkugel gebildet wird, oder den in 107,2 benutzten Kegelkonduktor während des ganzen Versuches gleichmäßig stark laden, was dadurch erkannt wird, daß durch die aus der Spitze ausströmende Elektrizität ein hörbares Zischen entsteht. Man entnehme mit einer Probekugel, die man während der Versuche nicht mit einer anderen vertauscht, Elektrizität von der Spitze des Konduktors jedesmal nach eben beendetem Zischen.

Man halte das Pendel ein wenig außerhalb seiner Gleichgewichtslage und gebe der festen Kugel mit dem Probekügelchen schnell zwei Ladungen, lasse das Pendel los, so daß es gegen die feste Kugel stößt und dann zurückgeht, da beide eine gleiche (102) Ladung derselben Elektrizität besitzen. Man messe die Entfernung, gebe der

festen Kugel eine zweite, dann eine dritte Ladung, messe die jedesmalige Entfernung und vergleiche das Verhältnis der drei Entfernungen mit dem der Ladungen der festen Kugel.

Man beginne den Versuch in derselben Weise, indem man der festen Kugel zwei Ladungen gibt und beide Kugeln sich berühren läßt, gebe dann aber der Pendelkugel noch eine Ladung und messe jetzt die Entfernung. Dann füge man der festen Kugel eine zweite und dritte Ladung hinzu, messe jedesmal die Entfernung und vergleiche sie mit der entsprechenden der ersten drei Versuche. In welcher Beziehung steht demnach die abstoßende Kraft zweier gleichnamig elektrischen Körper zu den Ladungsmengen der einzelnen Körper?

Anstatt den Ausschlag der Kugel direkt zu messen, kann man auch die Schattenbilder der Kugeln benutzen, die man etwa mit Hilfe einer in 2 bis 4 m Entfernung aufgestellten elektrischen Bogenlampe oder einer anderen punktförmigen Lichtquelle (10,2) auf einen in 4 bis 5 m Entfernung aufgestellten Schirm wirft.

109. Coulombsches Gesetz. Pendelschwingungen. Man befestige an dem wagerechten Glasstab des für das elektrische Pendel

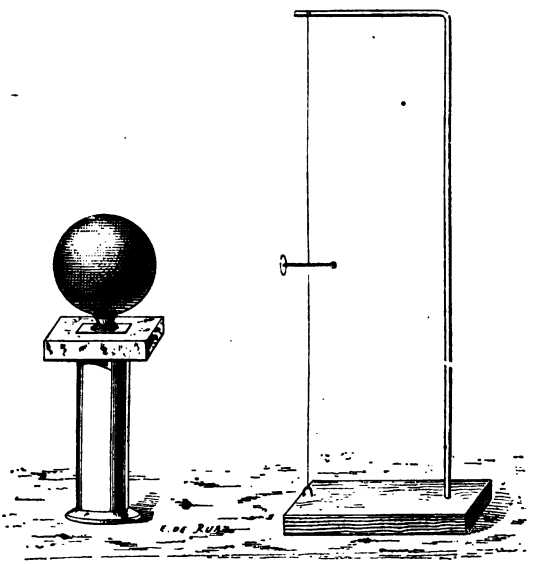


Fig. 178.

benutzten Stativs (vergl. Fig. 159) einen Seidenfaden, spanne diesen vertikal und befestige sein unteres Ende auf dem Brett an einem kleinen Häkchen (Fig. 178), dann erwärme man Schellack so weit, daß es gelingt, ihn zu feinen Fäden auszuziehen, oder man stelle sich einen feinen Glasfaden her. (I, 6.) An einem Ende eines solchen Fadens von etwa 4 cm Länge und 1 mm Dicke bringe man ein

kleines kreisrundes Papierscheibchen aus Goldpapier mittels eines Tröpfchens des flüssigen Schellacks an. Man befestige das kleine Stäbchen horizontal in der Mitte des Seidenfadens, indem man auf diesen einen Tropfen Schellack bringt und dann das Stäbchen andrückt. Auf das andere Ende des Stäbchens setze man einige Tropfen Schellack, so daß es horizontal schwebt.

Man schraube eine Konduktorkugel von mindestens 10 cm Durchmesser auf eine kleine Metallplatte, lege diese auf einen Paraffinblock und stelle das Ganze auf ein Standglas, so daß die Kugel

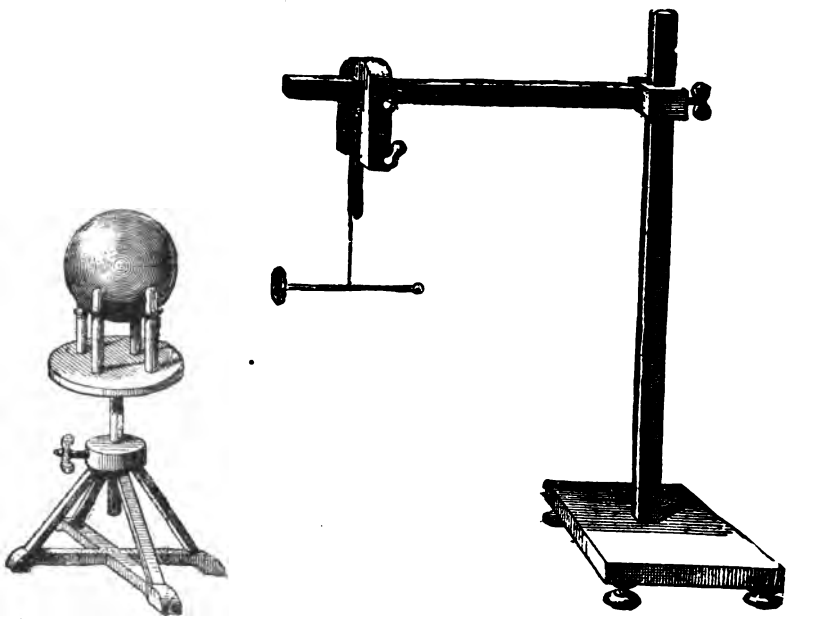


Fig. 179.

gerade der Scheibe des vorher angefertigten Horizontalpendels gegenübersteht.

Man kann auch — wie Coulomb — die Kugel auf kleinen Siegellackstangen ruhen lassen (Fig. 179) und dem Horizontalpendel die beistehende Anordnung geben.

Man mache den Konduktor stark positiv, die kleine Scheibe negativ elektrisch oder auch umgekehrt, lasse letztere schwingen und bestimme aus einer Anzahl Schwingungen die Schwingungsdauer des Pendels. Man wiederhole den Versuch für eine andere Entfernung, wobei man möglichst schnell verfährt, damit möglichst wenig Elektrizität verloren geht. Um diesen kleinen Verlust in der Rechnung berücksichtigen zu können, stelle man dann den Versuch noch einmal für die zuerst genommene Entfernung an und nehme aus den beiden für die Schwingungsdauer bei dieser Entfernung berech-

neten Werten das Mittel. Für diesen Wert und den entsprechenden Wert des mittleren Versuches berechne man das Richtungsmoment, indem man das Trägheitsmoment der Scheibe gleich Eins setzt (I, 35). Man vergleiche das Verhältnis der Richtungsmomente mit dem der reziproken Werte der Quadrate der Entfernung der Scheibe bis zum Mittelpunkt der Kugel.

Man stelle diese Versuche noch für andere Entfernungen an.

110. Coulombsches Gesetz. Drehwage. Man konstruiere in ähnlicher Weise wie in Nr. 83,3 angegeben, eine Drehwage, nur benutze man einen feinen Silberdraht oder Glasfaden, an dessen unterem Ende man ein wagerecht hängendes Schellackstäbchen befestigt hat, das an einem Ende eine kleine vergoldete Kugel aus Holundermark, am anderen ein Gegengewicht trägt (Fig. 180).

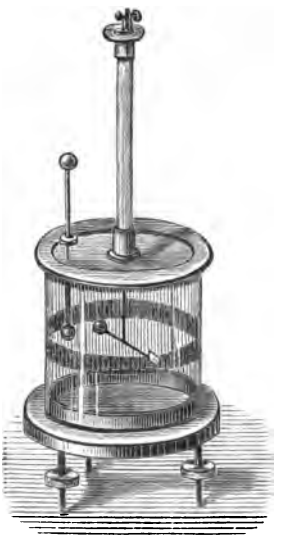


Fig. 180.

Man bringe durch das seitliche Loch des Deckels, welches hier nicht bogenförmig zu sein braucht, eine an einem Glas- oder Schellackstab sitzende Kugel von gleicher Art und Größe wie die am Wagebalken in das Innere und drehe den Torsionsknopf so, daß, wenn beide Kugeln ungeladen sind, sie sich gerade berühren. Diese Stellung des Torsionsknopfes merke man sich als die Nullstellung. Dann nehme man die am Stab sitzende Kugel heraus, lade sie mit einer beliebigen Elektrizitätsmenge und bringe sie zurück an ihren Platz in der Drehwage, so daß sie die am Balken sitzende Kugel gerade berührt. Beide Kugeln stoßen sich ab. Man messe die Entfernung beider Kugeln und den Torsionswinkel des Drahtes. Dann drehe man den Torsionsknopf, so daß sich die Entfernung beider Kugeln ändert, und lese wieder die Entfernung und den Torsionswinkel ab, welcher sich jetzt aus der Summe des Winkels, um den man den Knopf gedreht hat, und des Winkels, um den der Wagebalken aus seiner Ruhelage abgelenkt ist, zusammensetzt. Man wiederhole die Messungen für andere Stellungen des Torsionsknopfes.

Welche Gesetzmäßigkeit ergibt sich zwischen der Entfernung beider Kugeln und der durch den Torsionswinkel des Silberdrahtes gemessenen Kraft (I, 47) zwischen beiden Kugeln?

Man stelle eine Reihe von Versuchen an, indem man einmal die Ladung der festen, das andere Mal die der beweglichen Kugel auf die Hälfte, dann auf ein Viertel usw. reduziert, während man die der anderen ungeändert läßt. Welche Gesetzmäßigkeit ergibt sich hieraus für die Abhängigkeit der Kraft von der Elektrizitätsmenge der beiden Kugeln?

111. Form des Coulombschen Gesetzes. Bezeichnen wir die zwischen den beiden Elektrizitätsmengen wirkende Kraft mit K, die Elektrizitätsmengen selbst mit e und e', ihre Entfernung mit r und eine Konstante mit D, in welche Formel lassen sich dann die 108, 109 und 110 gefundenen Gesetze bringen?

Wählt man als Einheit der Elektrizitätsmenge diejenige, welche auf die ihr gleiche Menge in der Entfernung 1 durch Luft unter atmosphärischem Druck und bei Zimmertemperatur hindurch die Kraft 1 ausübt, so erhält die Konstante den Wert 1, und das Gesetz nimmt die einfache Form an: $K = \frac{e\,e'}{r^2}$. Welches Vorzeichen erhält K, je nachdem e und e' gleichnamige oder ungleichnamige Elektrizitäten sind?

112. Elektrizitätsgrad auf einem Leiter. Man stelle den Leiter, z. B. einen Blechteller, mit einem kleinen Eimer auf eine isolierende

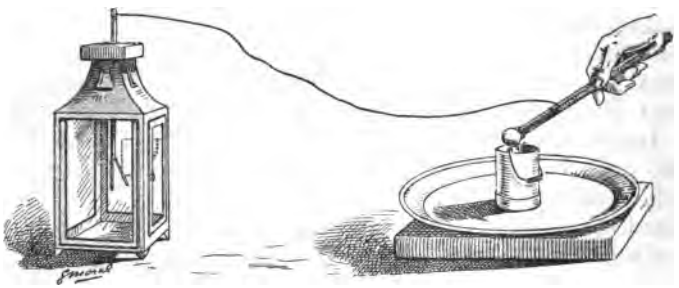


Fig. 181.

Unterlage (Paraffinblock), führe eine Probekugel, an welche ein feiner Kupferdraht gelötet ist, dessen anderes Ende mit einem Elektroskop verbunden ist (Fig. 181), an die verschiedensten Stellen des stark elektrisch gemachten Leiters, wie vornehmlich an die Ränder, an den Boden und in das Innere des Eimers (105,3), und beobachte das Elektroskop; ist der durch das Elektroskop angezeigte Elektrizitätsgrad an allen Stellen des Leiters gleich oder verschieden?

Laden wir den Konduktor noch mehr, so erhalten wir auch wieder überall denselben, von dem früheren aber verschiedenen Grad des elektrischen Zustandes, ein anderes „Potential". Das Elektroskop ist also ein Meßinstrument für das Potential, wie das Thermometer für die Temperatur.

Man stelle einen ebensolchen Versuch an mit anders geformten Konduktoren, z. B. den in 107 benutzten. Welche Verteilung des Potentiales erhält man bei diesen?

113. Das elektrische Kraftfeld. Kraftlinien. 1. Man halte einen an einem Kupferdraht befestigten kurzen Leinenfaden an verschiedenen Stellen in die Nähe der Konduktorkugeln einer Elektrisiermaschine (Fig. 182) und beobachte die Richtung, welche der

Faden im „elektrischen Kraftfeld“ einnimmt. Man werfe mit Hilfe einer punktförmigen Lichtquelle (10, 2) den Schatten des Fadens auf einen Schirm und führe den Faden so zwischen den Konduktoren entlang, daß in zwei aufeinanderfolgenden Stellungen der Anfang des zweiten Schattens stets mit dem Ende des ersten zusammenfällt; durch einen Gehilfen lasse man die Schatten aufzeichnen, so daß man zusammenhängende Linien, Kraftlinien erhält (76).

2. Man klebe zwei kreisförmige Stanniolblätter auf eine mit Hilfe von Paraffinstückchen isoliert aufgestellte Glasscheibe und verbinde durch Metallstäbe die Mitten der Stanniolblätter mit den Konduktoren einer Elektrisiermaschine (Fig. 183). Man setze die Maschine in Gang, streue feine Härchen oder kurz geschnittene Hanffäden auf

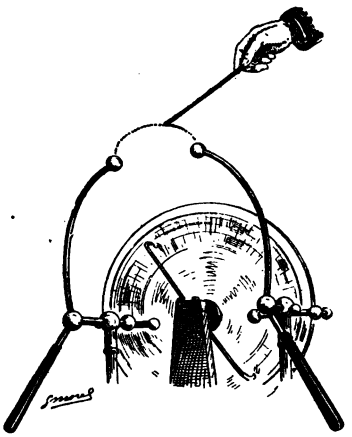


Fig. 182.

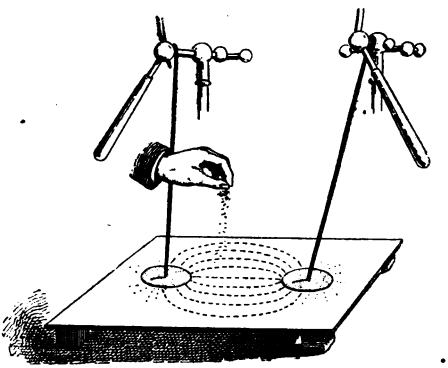


Fig. 183.

die Glasplatte und beobachte, wie dieselben sich in Kraftlinien ordnen. Wie enden sie an der Oberfläche der Leiter?

3. Man stelle diesen Versuch in der Art an, daß man den einen Metallstab entfernt und den entsprechenden Konduktor zur Erde ableitet. Welche Gestalt nehmen jetzt die Kraftlinien in der Nähe des anderen Poles an?

4. Man bringe Chininsulfat in ein Gefäß mit wasserfreiem Terpentinöl, halte in dieses eine durch einen Draht mit einer Elektrisiermaschine leitend verbundene Kugel und beobachte, wie sich das Chininsulfat in radialen weißen Streifen längs der Kraftlinien ordnet.

5. Man halte zwei mit den Konduktorkugeln einer Elektrisiermaschine leitend verbundene kleine Kugeln in ein mit Rizinusöl gefülltes Gefäß und beobachte die Richtung der Fäden, in welche sich das Öl zwischen beiden Kugeln auszieht.

6. Man wiederhole den vierten Versuch, bringe in die Flüssigkeit zwischen die Kugeln (oder Platten) einen Metallring und beobachte das Einbiegen der Kraftlinien. Wie laufen diese innerhalb

des Ringes? Man vergleiche diese Erscheinung mit der in Nr. 77, 2 gefundenen. Man ersetze den Metallring durch einen Hartgummiring. Welchen Einfluß hat dieser auf das Kraftlinienbild?

Man definiert auch in der Elektrostatik wie im Magnetismus als Zahl der von der Elektrizitätsmenge e ausgehenden Kraftlinien die Zahl $4\pi e$.

Niveauflächen. 7. Man verbinde den Stab eines Elektroskopes, dessen Gehäuse abgeleitet ist, durch einen feinen unbesponnenen Kupferdraht mit der Mitte eines Ebonitstäbchens, das am Ende ein kleines Licht trägt. Am Ende des Drahtes ist ein Stückchen Platindraht angelötet, das so gebogen ist, daß sein freies Ende in die Flamme reicht. Man lade einen Kugelkonduktor stark und lasse durch einen Gehilfen die Leitung konstant erhalten; zur Kontrolle verbinde man den Konduktor mit einem Elektroskop. Man führe das Licht in gleichem Abstande um die Kugel herum und beobachte die gleichen Ausschläge des Elektroskopes. Dasselbe wiederhole man für verschiedene Abstände. Man zeige so, daß die die Kugel umgebende Luft, das elektrische Feld, ein Potential angenommen hat, das in gleichen Abständen von der Kugel dasselbe ist, aber mit wachsendem Abstande abnimmt. Was für Flächen bilden bei einem Kugelkonduktor also die Flächen gleichen Potentiales, die elektrischen Niveauflächen? Wie stehen die Kraftlinien zu diesen Flächen?

8. Man lade den in 107, 4 benutzten Kegelkonduktor, erhalte sein Potential konstant, indem man etwaige durch ein mit ihm verbundenes Elektroskop sichtbar gemachte Verluste sofort wieder ersetzt, und bestimme die Schnittkurve der Niveauflächen mit einer durch die Achse gehenden vertikalen Ebene, indem man das eben benutzte Licht in dieser Ebene so um den Konduktor herumführt, daß der Ausschlag des mit dem Licht verbundenen Elektroskopes für jede untersuchte Niveaufläche einen konstanten Wert behält. Welcher Form nähern sich die Niveauflächen in der Nähe des Konduktors, welcher in größerer Entfernung?

114. Influenz. 1. Man stelle einem isoliert aufgestellten Kugelkonduktor das eine Ende eines ebenfalls isolierten zylindrischen Konduktors gegenüber, der oben an den Enden und in der Mitte Streifen aus Goldblatt trägt (Fig. 184). Man lade den Kugelkonduktor mit positiver Elektrizität und beobachte die Blättchen. Wie verhält sich besonders das mittlere? Man nähere den Blättchen von oben her einen geriebenen Glasstab. Welche Elektrizität zeigen die Blättchen an? Man entferne den Kugelkonduktor oder entlade ihn und beobachte wieder die Blättchen. Dann stelle man die Konduktoren wieder einander gegenüber, lade den Kugelkonduktor, berühre den andern ableitend mit der Hand, entferne diese und dann den Kugelkonduktor. Wie verhalten sich jetzt die drei Blättchen? Man untersuche, ob der Zylinderkonduktor positiv oder negativ geladen ist. Welche Elektrizität ist durch die Hand zur Erde abgeleitet,

welche durch die positive Elektrizität der Kugel festgehalten, gebunden worden?

Man untersuche den Einfluß der Stelle, an welcher der Zylinderkonduktor ableitend mit dem Finger berührt wird, indem man einmal an der dem influenzierenden Konduktor nächsten, dann an der entferntesten Stelle ableitet. Welcher Unterschied zeigt sich?

2. Man verbinde zwei Elektroskope durch einen Metallstab, der in der Mitte einen isolierenden Handgriff besitzt, bringe in die Nähe des einen Elektroskopes einen positiv geladenen, isolierten Konduktor, entferne mittelst des Handgriffes den Metallstab und dann den Konduktor. Was für Elektrizität (Influenzelektrizität erster Art) zeigt das Elektroskop, welches dem Konduktor am nächsten stand, was für Elektrizität (Influenzelektrizität zweiter Art) das andere? Man vergleiche die Größe der beiden Ausschläge. Welchen Einfluß hat also ein elektrischer Körper auf einen benachbarten unelektrischen? Man verbinde beide Elektroskope wieder durch den Metallstab. Wie verhalten sich die Blättchen? Man wiederhole den Versuch mit einem negativ geladenen Konduktor. Wie verhalten sich die Vorzeichen der beiden Arten Influenzelektrizität zu dem der influenzierenden Elektrizität?

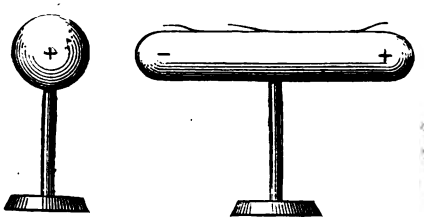


Fig. 184.

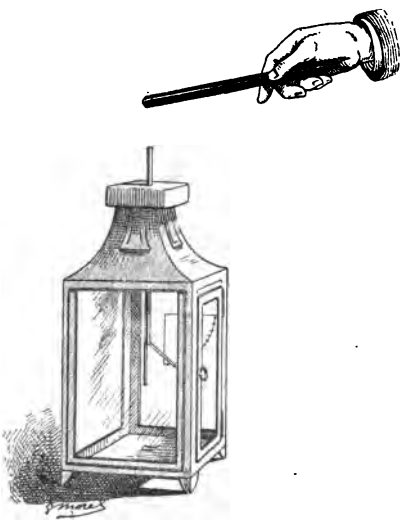


Fig. 185.

3. Man nähere einen geriebenen Glasstab einem Elektroskop und entferne ihn wieder (Fig. 185). Wie verhält sich das Elektroskop?

Man nähere den Glasstab, berühre das Elektroskop mit dem Finger und beobachte das Elektroskop. Man entferne den Finger und dann den Glasstab. Es entsteht wieder ein Ausschlag. Man untersuche durch Berühren mit einem schwach elektrisierten Glas- oder Hartgummistab, mit welcher Elektrizität das Elektroskop geladen ist. Welchen Einfluß hatte der Finger?

Man mache das Elektroskop durch einen geriebenen Körper elektrisch, von dem man nicht weiß, welche Elektrizität er zugeführt hat. Dann untersuche man durch bloße Annäherung eines geriebenen

Glasstabes, mit welcher Elektrizität das Elektroskop geladen ist, indem man die Vorzeichen und die Ansammlungsstelle der beiden Arten von Influenzelektrizität beachtet.

4. Man beklebe zwei sorgfältig gesäuberte Glaskugeln mit kurzem Hals mit Stanniol, schließe die Kugeln durch Korkstopfen und stelle sie mittels dieser Stopfen auf zwei Paraffinsäulen (Fig. 186). Kork und Paraffin, sowie Paraffin und Brettunterlage befestige man aneinander durch Siegellack oder indem man das Paraffin durch Erwärmen weich macht. Man stelle die Kugeln einander gegenüber und mache die eine elektrisch. Dann blase man pulverförmigen Schwefel und Mennige (97) auf die Kugeln und suche die Grenze

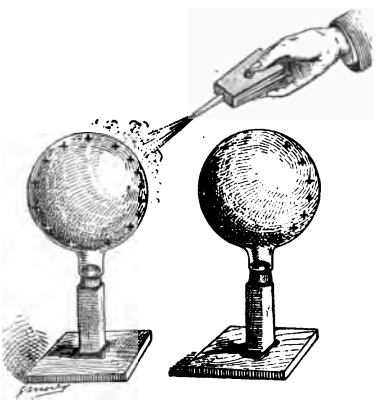


Fig. 186.

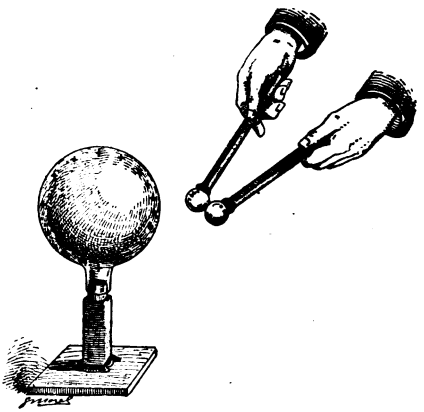


Fig. 187.

zwischen den durch Influenz entstandenen ungleichnamigen Elektrizitäten. Welcher Teil der zweiten Kugel zeigt dieselbe Farbe wie die erste?

5. Man halte zwei an isolierenden Handgriffen befestigte Metallkugeln, Probekugeln (103), so in die Nähe des stark elektrischen Konduktors (Fig. 187), daß die sich berührenden kleinen Kugeln mit dem Zentrum des Konduktors eine Gerade bilden, d. h. also in der Richtung einer Kraftlinie (113, s) stehen. Man trenne dann die beiden Kugeln, entferne sie vom Konduktor und untersuche am Elektroskop, ob, mit welcher Elektrizität und in welchem Verhältnis sie geladen sind. Man wiederhole den Versuch, indem man die kleinen Kugeln senkrecht zu der Kraftlinie des Konduktors, d. h. also in einer Niveaufläche hält.

6. Man stelle auf das mit einer Platte versehene Elektroskop ein kleines Metalleimerchen (vergl. Fig. 170) und halte in den Eimer eine geriebene Glas- oder Hartgummistange, ohne ihn zu berühren. Wie verhält sich das Elektroskop? Dann ziehe man den Stab wieder heraus und beobachte dabei das Elektroskop. Welche Elektrizität zeigt das Elektroskop an, wenn der Stab im Eimer ist? Ist es die Influenzelektrizität erster oder zweiter Art?

Man halte Stab und Reibzeug, z. B. Stab und Beutel nach Fig. 171, gleichzeitig in den Eimer und beobachte das Elektroskop. Warum kann es keine Influenzelektrizität anzeigen? (104).

7. Man nähere einen stark elektrischen Konduktor der Zimmerwand und untersuche mittels Probekugel oder auch durch ein elektrisches Pendel, ob an der Wand Influenzelektrizität entstanden ist.

115. Potential auf einem influenzierten Leiter. 1. Man stelle zwei Konduktorkugeln nebeneinander, von denen die eine geladen,

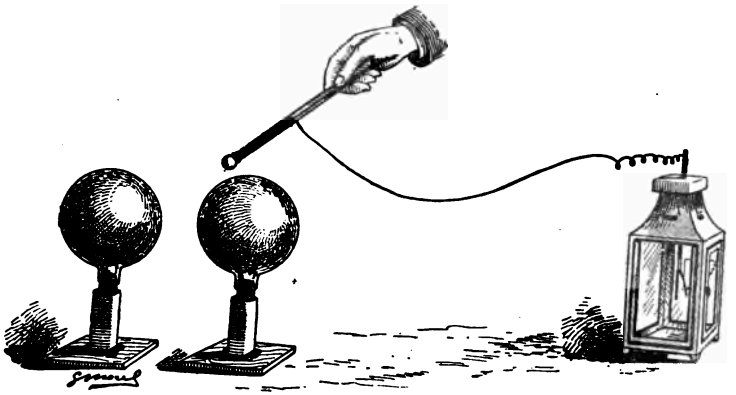


Fig. 188.

die andere ungeladen ist, führe eine durch einen Kupferdraht mit dem Elektroskop verbundene Probekugel (Fig. 188) an der zweiten

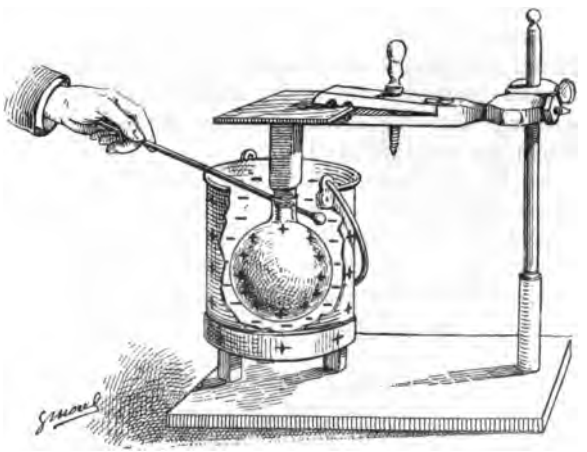


Fig. 189.

Kugel entlang und untersuche so ihr Potential (112) an den verschiedenen Stellen. Ebenso untersuche man das Potential an ver-

schiedenen Stellen des in 114 benutzten Zylinderkonduktors. Wie unterscheidet sich die Verteilung des Potentiales an der Oberfläche eines durch Berührung und eines durch Influenz geladenen Leiters?

2. Man stelle einen Metalleimer auf eine isolierende Unterlage (Fig. 189) und halte den Konduktor in den Eimer, indem man das Brettchen an einem Stativ befestigt; Kugel und Eimer dürfen sich nicht berühren. Mittels Probekugel und Elektroskop untersuche man, welche Elektrizitäten auf der Innen- und Außenseite des Eimers durch Influenz entstanden sind. Wie ändern sich beide, wenn der Konduktor den Eimer berührt? Warum mußte beim Eichen des Elektroskopes (103) ein Eimer zum Laden benutzt werden?

Um das Potential des Eimers wie des Konduktors erkennen zu können, setze man zuerst den einen, dann den andern durch Probekugel und Kupferdraht mit dem Elektroskop in Verbindung. Wie ist auch hier das Potential auf der Oberfläche eines und desselben Leiters verteilt?

116. Kraftlinien unter dem Einfluss influenzierter Leiter. An ein mit Paraffin überzogenes Glas- oder Siegellackstäbchen binde man einen kurzen feinen Faden. Dann stelle man zwischen zwei gleichstark, aber entgegengesetzt geladene Konduktoren, z. B. die einer Elektrisiermaschine, einen zylindrischen Leiter, der etwas kürzer ist als die Entfernung beider und etwas tiefer steht als die Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte. Man lade die Konduktoren und suche die Kraftlinien, indem man den Stab so durch das entstandene Kraftfeld führt, daß die Stellung des Fadens jedesmal die Fortsetzung seiner vorherigen ist. Wie werden die in 113, 1 erhaltenen Kraftlinien durch den Zylinderkonduktor verschoben? (77, 1).

Man vergleiche die Dichte, d. h. die Zahl der die Flächeneinheit des influenzierten Leiters treffenden Kraftlinien mit der Dichte der Elektrizität auf dem betrachteten Stück des Leiters; in welche Beziehung kann man also die beiden Enden einer Kraftlinie zu der Elektrizitätsmenge der betreffenden Stellen der beiden Leiter setzen, zwischen denen sie verläuft (113, 6)?

Nach der in 113, 7 gegebenen Methode suche man die Niveauflächen in diesem Kraftfelde. Wie stehen sie hier zu den Kraftlinien?

117. Einfluss des Gehäuses eines Elektroskopes auf dessen Angaben. Man stelle das Elektroskop auf einen Paraffinblock und führe dem Stab irgendeine Ladung zu. Dann berühre man das Metallgehäuse mit dem Finger. Nimmt der Ausschlag des Blättchens zu oder ab?

Man lade das Elektroskop und beobachte den Ausschlag. Dann lade man auch das Gehäuse mit derselben Elektrizität mehr und mehr, bis der Ausschlag Null geworden ist. Jetzt berühre man das Gehäuse ableitend und vergleiche den Ausschlag mit dem zuerst gefundenen.

Um den Einfluß des Gehäuses genauer zu untersuchen, verbinde man es mit dem Stab eines zweiten Elektroskopes, lade das erstere

und beobachte den Ausschlag beider. Dann lade man das Gehäuse des ersteren mehr und mehr, bis der Ausschlag Null geworden ist, und beobachte jedesmal den des zweiten Elektroskopes. Man berühre nun das Gehäuse ableitend, so daß das erste Elektroskop wieder den ursprünglichen Ausschlag zeigt. In welcher Beziehung steht das Potential eines Elektroskopes bei nicht abgeleitetem Gehäuse zu dem des Gehäuses und dem des Elektroskopes bei abgeleitetem Gehäuse? Welche Vorsicht muß man also anwenden, um an einem Elektroskop das wirkliche Potential erkennen zu können?

Man führe dem Gehäuse des positiv geladenen ersten Elektroskopes so viel positive Elektrizität zu, daß der Ausschlag nicht Null bleibt, sondern wieder größer wird. Man berühre dann den Stab des ersten Elektroskopes und danach auch das Gehäuse mit dem Finger und prüfe, mit welcher Elektrizität das Elektroskop jetzt geladen ist. Man wiederhole den Versuch, berühre dann aber nur das Gehäuse. Die Blättchen fallen zusammen, gehen aber sofort wieder auseinander mit positiver Elektrizität. Wo ist die negative geblieben?

Man lade das erste Elektroskop wieder mit positiver Elektrizität, dem Gehäuse führe man aber negative zu. Wie verhält sich jetzt das Blättchen?

118. Schirmwirkung. 1. Man lade ein Elektroskop schwach positiv, einen Konduktor stark negativ und stelle letzteren in eine solche Entfernung, daß der Ausschlag des Elektroskopes etwas verringert wird. Dann halte man eine Blechtafel oder ein engmaschiges Drahtnetz zwischen Elektroskop und Kugel und beobachte das Elektroskop, wenn die Tafel oder das Drahtnetz zur Erde abgeleitet bezw. nicht abgeleitet sind.

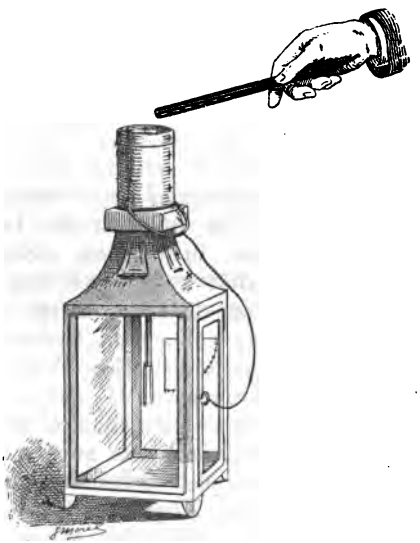


Fig. 190.

2. Man setze auf das auf Paraffin stehende Elektroskop einen kleinen Eimer, ohne daß er den Stab berührt, verbinde ihn durch einen Draht mit dem Gehäuse (Fig. 190) und berühre Eimer oder Gehäuse mit einem stark elektrischen Stab. Wie verhält sich das Elektroskop? Wie aber, wenn diese Verbindung aufgehoben wird (105).

3. Man stelle über ein Elektroskop eine zur Erde abgeleitete Glocke aus Drahtnetz und nähere dieser einen geriebenen Stab. Wie verhält sich das Elektroskop?

Man denke sich die von einer positiven zu einer negativen Elektrizitätsmenge gehenden Kraftlinien in diesen verschiedenen Fällen gezeichnet. Wann wird der Stab des Elektroskopes von keinen Kraftlinien getroffen, und wann enden solche auf ihm?

119. Leydener Flasche. Franklinsche Tafel. Zylinderkondensator. 1. Man stelle sich eine Leydener Flasche (Fig. 191) her, indem man ein weites, möglichst dünnwandiges Glasgefäß innen und außen in gleicher Höhe mit Stanniol überklebt und dann mittels eines großen durchbohrten Korkes einen oben mit einer Kugel versehenen Metallstab in das Glas stellt, der, um eine gute Verbindung mit der inneren Belegung zu besitzen, unten mit einer Anzahl von Stanniolstreifen oder Drähten versehen ist. Den nicht beklebten Teil des Glases bestreiche man mit einem gut isolierenden Lack. Man lade die Leydener Flasche, d. h. man führe dem den Zugang zur inneren Belegung vermittelnden Metallstab Elektrizität zu, indem man ihn mit einem geriebenen Glasstab berührt, einmal, wenn die Flasche auf einer isolierenden Unterlage steht, dann, wenn die äußere Belegung zur Erde abgeleitet ist. Man berühre in jedem der beiden Fälle die beiden Belegungen mit den Metallteilen eines „Entladers", d. h. zweier starken Drähte oder Stäbe, die in der Mitte an einem isolierenden Handgriff befestigt sind, an ihrem einen Ende durch ein Scharnier zusammengehalten werden und am anderen Ende eine Kugel tragen. In welchem der beiden Versuche erhält man einen starken Funken, in welchem nicht? In welchem Versuch ist die Influenzelektrizität zweiter Art von der äußeren Belegung abgeleitet worden, so daß diejenige erster Art größere Mengen der in die innere Belegung gebrachten Elektrizität binden konnte (114, 2).

Fig. 191.

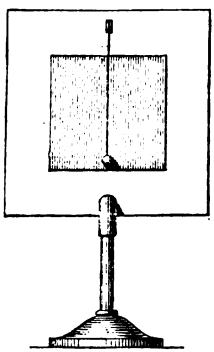


Fig. 192.

2. Man stelle sich eine Franklinsche Tafel her, indem man eine auf isolierendem Fuß stehende Glas- oder Hartgummischeibe auf beiden Seiten mit Stanniol überzieht, so daß ringsherum ein Rand frei bleibt, den man zwecks guter Isolierung firnißt (Fig. 192). Auf jeder Seite der Scheibe kann man ein Holundermarkpendel befestigen, dessen Kugel das Stanniol berührt. Man wiederhole den mit der Leydener Flasche angestellten Versuch in gleicher Weise mit der Franklinschen Tafel. Die Art der beiden Elektrizitäten auf den Stanniolflächen weise man mit Hilfe der Pendel und eines geriebenen Glas- oder Hartgummistabes nach.

3. Eine etwa 50 cm lange und 2,5 cm weite Messingröhre lege man auf Paraffinunterlagen, die auf einem schmalen Brett befestigt

sind. Eine etwas längere Messingröhre von nur 1,5 cm Dicke schiebe man durch die weitere; damit beide Röhren sich nicht berühren, stütze man die innere an den Enden durch zwei Holzklötze, deren Höhe man so einrichtet, daß die engere Röhre gerade in der Mitte der weiteren liegt.

Man lade und entlade diesen Zylinderkondensator in ähnlicher Weise wie die Leydener Flasche; wodurch ist die die beiden Metallteile der letzteren trennende Glasschicht bei dem Zylinderkondensator ersetzt worden?

120. Ansammlungsapparate. Man reibe einen Glasstab, lade damit einen mit dem Stab eines geeichten Elektroskopes in Verbindung stehenden Kugelkonduktor und beobachte das Potential. Dann reibe man denselben Glasstab, lade damit eine Leydener Flasche, Franklinsche Tafel oder einen Zylinderkondensator und beobachte wieder den Ausschlag des jetzt mit einem dieser Apparate verbundenen Elektroskopes. Wo läßt sich mehr Elektrizität ansammeln, aufhäufen, auf dem Konduktor oder in der Leydener Flasche?

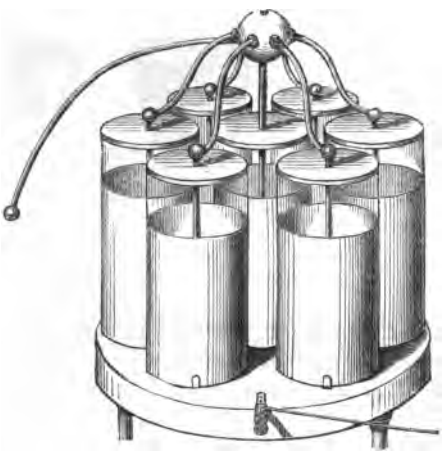


Fig. 193.

Man lade einen mit einem Elektroskop verbundenen Kugelkonduktor und beobachte die Zeit, in welcher er seine Elektrizität verliert. Denselben Versuch stelle man mit einem der eben genannten drei Apparate an. Wo läßt sich am längsten Elektrizität aufspeichern?

Man nennt wegen dieser Eigenschaften Apparate, welche ähnlich sind wie die Leydener Flasche usw., Ansammlungsapparate, Akkumulatoren oder Kondensatoren.

Noch größere Wirkungen erzielt man, wenn man eine Anzahl Kondensatoren zu einer Batterie (Fig. 193) zusammenstellt, indem man alle inneren und alle äußeren Belegungen der einzelnen Flaschen mit einander verbindet.

Man kontrolliere die Skala eines geeichten Elektroskopes (103), indem man anstelle des großen Kugelkonduktors eine Batterie Leydener Flaschen benutzt.

121. Sitz der Elektrizität in Kondensatoren. 1. Verfügt man über eine zerlegbare Leidener Flasche (Fig. 194) oder eine zerlegbare Franklinsche Tafel, welche man sich leicht herstellen kann aus zwei Metallplatten und einer diese an Größe übertreffenden, gut getrockneten dünnen Glas- oder Hartgummischeibe, so setze man sie

zusammen, lade sie, indem man die gegen die Erde isolierte äußere Belegung der Leydener Flasche, bezw. die ihr entsprechende Platte der Franklinschen Tafel während des Ladens ableitend berührt, und nehme sie dann auseinander, indem man die einzelnen Teile vorsichtig mit Isolatoren anfaßt und isoliert aufstellt.

Man untersuche die beiden Metallteile auf Elektrizität. War es nötig, sie isoliert aufzustellen?

Dann setze man den Kondensator wieder zusammen und berühre mit den beiden Kugeln des Entladers die beiden Metallteile. Welche Erscheinung beobachtet man, Wo muß demnach der Sitz der in

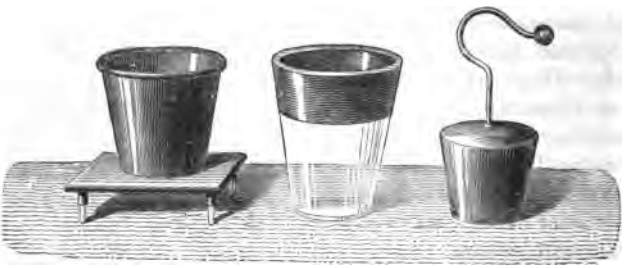


Fig. 194.

einer Leydener Flasche aufgespeicherten Elektrizität sein, auf den Belegungen oder auf dem beide trennenden Isolator?

2. Man lasse eine Leydener Flasche einige Zeit in geladenem Zustande stehen und entlade sie dann durch einen Funken. Was beobachtet man, wenn man nach einiger Zeit noch einmal mit dem Entlader beide Belegungen in Berührung bringt. Ist die Elektrizität nur auf der Oberfläche des Glases gewesen oder in das Innere eingedrungen?

122. Kapazität. Man bereite sich eine Anzahl großer Metallkugeln von verschiedenem Radius vor, am bequemsten solche, deren Radius in einem einfachen Verhältnis stehen, z. B. 1 : 2 : 3 : 4, welche man auf ein Elektroskop aufschrauben kann und welche ein kleines Loch besitzen, durch welches sich eine Probekugel in das Innere einführen läßt (105, s). Eine dieser Kugeln, vielleicht die größte, schraube man auf das Elektroskop, lade sie mit Hilfe der Probekugel aus einer Leydener Flasche oder Batterie und lese den jeder Ladungsmenge entsprechenden Ausschlag ab. In welcher Beziehung steht die zugeführte Elektrizitätsmenge zu dem durch den Ausschlag angegebenen Potential?

Man wiederhole den Versuch für die anderen Kugeln. Wie ändert sich die Beziehung zwischen Elektrizitätsmenge und Potential? Den Proportionalitätsfaktor dieser Beziehung, welcher also angibt, eine wie große Elektrizitätsmenge eine Kugel bezw. irgendein Konduktor oder Kondensator bei einem bestimmten Potential zu fassen vermag, nennen wir die Kapazität der Kugel bezw. des Kondensators. In

welcher Abhängigkeit steht nach den Versuchen mit den verschiedenen Kugeln die Kapazität einer Kugel vom Radius?

Als Einheit der Kapazität nimmt man die Kapazität einer Kugel, deren Radius gleich der Längeneinheit ist.

Trotzdem das Elektroskop nur Potentiale zu messen gestattet, ist in früheren Versuchen, z. B. 103, die Elektrizitätsmenge mit ihm festgestellt worden, indem eine Probekugel zuerst mit dem geladenen Körper, dann mit dem Elektroskop in Berührung gebracht wurde. Wie ergibt sich aus dem Begriff der Kapazität der Probekugel die Berechtigung hierzu?

123. Vergleich von Kapazitäten. 1. Man führe dem Elektroskop mit Hilfe einer Probekugel irgendeine Elektrizitätsmenge zu, die man mißt, indem man die eine einmalige Ladung der Probekugel

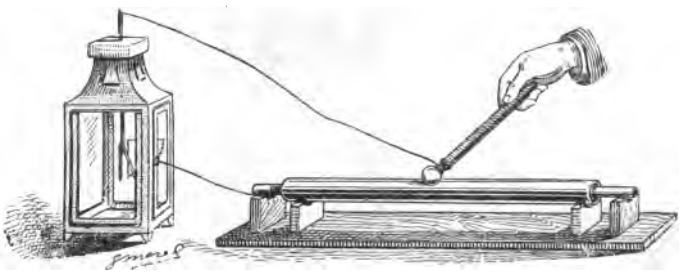


Fig. 195.

bewirkende Elektrizitätsmenge als Einheit annimmt, und beobachte das Potential. Dann entlade man das Elektroskop, schraube die Kugel vom Radius Eins auf, deren Kapazität wir als Einheit der Kapazität benutzen, und führe dem Elektroskop soviel Elektrizitätsmengen zu, daß dasselbe Potential wie vorher erreicht wird. Man berechne aus dem Verhältnis der Elektrizitätsmengen die Kapazität des Elektroskopes in den angenommenen Einheiten, indem man berücksichtigt, daß die unbekannte Kapazität des Elektroskopes im zweiten Versuch um die Kapazität Eins vergrößert worden war.

Warum mußten in der vorigen Nummer große Kugeln genommen werden?

2. Man lade das Elektroskop auf ein beliebiges Potential, verbinde dann den Stab des Elektroskops mit der äußeren, das Gehäuse mit der inneren Belegung eines Kondensators (Fig. 195), indem man alle Leitungen nur mit isolierenden Handgriffen anfaßt, und bestimme das neue Potential. Man berechne aus dem Verhältnis der beiden Potentiale das Verhältnis der Summe der Kapazitäten des Elektroskopes und des Kondensators zur Kapazität des Elektroskopes und dann die Kapazität des Kondensators allein in den im ersten Versuch definierten Einheiten der Kapazität.

3. Man vergleiche die Kapazitäten zweier Konduktoren, indem man die jedes einzelnen in derselben Weise wie oben bestimmt.

4. Man stelle sich eine Franklinsche Tafel her mit beweglichen Belegungen und Luft als Isolator, indem man zwei Metallplatten auf isolierenden Füßen so aufstellt, daß sie einander parallel sind und ihre gegenseitige Entfernung geändert werden kann. Bei gut ausgestatteten Apparaten (Fig. 196) kann man den Fuß der einen Platte durch eine Schraube um eine vertikale, den der anderen um eine horizontale Achse drehen, so daß man jederzeit die vollkommenste

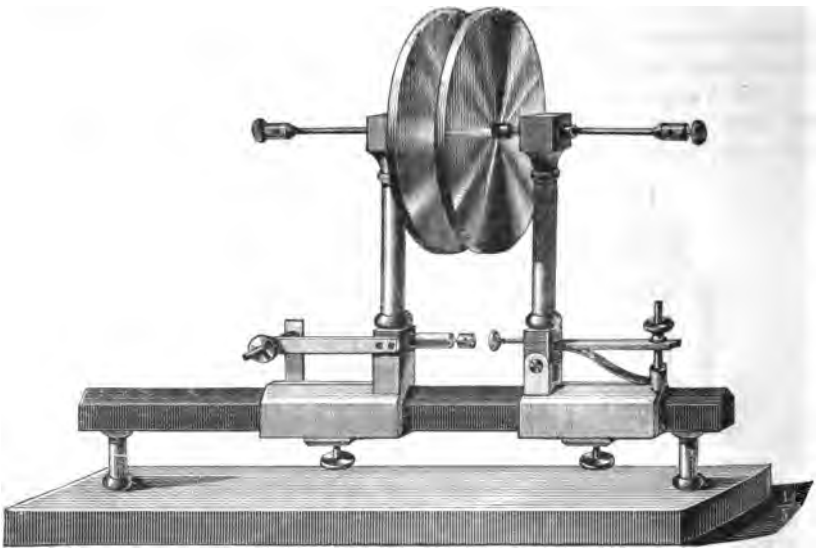


Fig. 196.

Parallelität beider Platten herstellen kann. Beide Füße lassen sich auf einem gemeinsamen Stativ verschieben.

Man messe die Kapazität dieses Kondensators für verschiedene, im Vergleich zu ihrem Durchmesser aber nur geringe Entfernungen der Platten voneinander. Man zeichne das Resultat in Koordinatenpapier ein, indem man als Ordinaten die Kapazitäten aufträgt. Welche Funktion der Entfernung muß man als Abszisse nehmen, damit man eine gerade Linie erhält?

124. Schaltung der Kondensatoren. Man stelle zwei Franklinsche Tafeln, an deren Belegungen man ⊓-förmig gebogene Stückchen Kupferdraht gelötet hat, auf Füßchen von Paraffin (Fig. 197) und verbinde die untere Belegung der ersten mit einem isoliert aufgestellten Leiter (Eimer). Man lade zunächst die beiden Kondensatoren, indem man die obere Belegung des einen mit der unteren des zweiten, die obere des letzteren mit einem Konduktor einer Elektrisiermaschine verbindet und den Eimer ableitend berührt. Dann setze man der Reihe nach mit Hilfe von Drähten, deren eines Ende an Gehäuse bezw. Stab eines isoliert aufgestellten Elektroskopes, deren

anderes Ende an Probekugeln angebunden ist, das Elektroskop zuerst mit den Belegungen jedes einzelnen Kondensators und schließlich mit beiden „hintereinander", d. h. mit derselben Schaltung, mit der sie geladen wurden (Kaskadenbatterie) in Verbindung, bestimme jedesmal die Potentialdifferenz (117) und vergleiche den zuletzt gefundenen Wert mit der Summe der beiden anderen. Man berücksichtige dabei, daß bei der Hintereinanderschaltung die freigewordene Influenzelektrizität zweiter Art vom zweiten Kondensator in den ersten fließt und hier von neuem eine gleichgroße Elektrizitätsmenge bindet, daß also z. B. bei Hintereinanderschaltung von n Kondensatoren mit nur einer Elektrizitätsmenge das n-fache der Potentialdifferenz hervorgerufen wird, die ein einziger Kondensator durch dieselbe Ladung erhält. Eine wievielmal größere Ladung müßte demnach einem einzigen Kondensator zugeführt werden, wenn er dieselbe Potentialdifferenz zeigen soll? Besitzt also ein einziger Kondensator

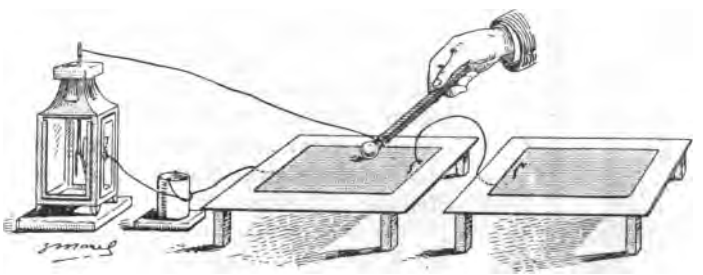


Fig. 197.

oder eine hintereinander geschaltete Batterie die größere Aufnahmefähigkeit, Kapazität, d. h. wem muß die größere Elektrizitätsmenge zugeführt werden, ehe dieselbe Potentialdifferenz eintritt?

Man verbinde die unteren Belegungen der Kondensatoren und ebenso die oberen miteinander, führe einer oberen Elektrizität zu, indem man eine untere oder den mit der unteren verbundenen Eimer ableitend berührt. Man vergleiche in ähnlicher Weise wie vorher die Potentialdifferenz jedes einzelnen Kondensators mit der dieser nebeneinander geschalteten Batterie. Muß einem einzelnen Kondensator oder einer solchen Batterie die größere Elektrizitätsmenge zugeführt werden, wenn dieselbe Potentialdifferenz erzielt werden soll?

Bei welcher Art der Schaltung wird also eine größere Potentialdifferenz, bei welcher eine größere Elektrizitätsmenge erzielt im Vergleich zur Wirkung eines einzelnen Kondensators? (Schaltung auf Potential; Schaltung auf Elektrizitätsmenge.)

125. Maßflasche. 1. Man stelle sich eine Leydener Flasche her, bei welcher der mit der inneren Belegung in Verbindung stehenden Kugel eine zweite Kugel gegenübersteht, die am Ende eines wagerecht liegenden, von einem isolierenden Glasfuß getragenen, in einer

Hülse verschiebbaren Drahtes befestigt ist; diesen Draht verbinde man mit der äußeren Belegung der Flasche (Fig. 198).

Man verbinde die Kugel der inneren Belegung mit einem Elektroskop und einer ständigen Elektrizitätsquelle, z. B. einer Elektrisiermaschine, während man die äußere Belegung und die mit ihr in Verbindung stehende Kugel ebenso wie den anderen Pol der Elektrisiermaschine zur Erde ableitet. Man lade die Flasche mit verschiedener Geschwindigkeit und beobachte dabei genau das Elektroskop. Wie ist der Ausschlag, den es jedesmal erreicht, kurz bevor ein Funken überspringt? Wie verhalten sich demnach die Elektrizitätsmengen der einzelnen Funken zueinander, wenn man bedenkt, daß die Kapazität der Flasche konstant ist? Ist die Elektrizitätsmenge eines Funkens von der Geschwindigkeit abhängig, mit der die Flasche geladen wird? Die Elektrizitätsmenge messe man durch die Zahl der Umdrehungen der Elektrisiermaschine.

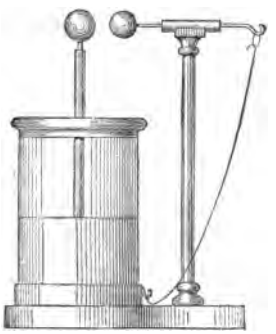


Fig. 198.

Man gebe den beiden Kugeln eine andere, z. B. größere, Entfernung voneinander und stelle dieselben Versuche an; wie verhalten sich jetzt die Elektrizitätsmengen der einzelnen Funken zueinander und zur Elektrizitätsmenge eines Funkens bei der ersten Stellung der Kugeln?

Was mißt also bei gegebener Stellung der Kugeln die Maßflasche?

2. Man verbinde die innere Belegung einer isoliert, z. B. auf einem Paraffinklotz, aufgestellten Maßflasche mit einem Pol einer Elektrisiermaschine, ihre äußere Belegung mit der inneren Belegung einer großen Batterie, deren äußere Belegung zur Erde abgeleitet ist, und lade diese durch die Maßflasche hindurch, indem man die Funken während der Dauer des Ladens zählt. Dann entlade man die Batterie mit Hilfe eines Entladers.

Jetzt ändere man die Schaltung, indem man die innere Belegung der isoliert aufgestellten Batterie mit demselben Pol der Elektrisiermaschine, die äußere Belegung mit der inneren Belegung der Maßflasche verbindet und deren äußere Belegung zur Erde ableitet. Man lade wieder, bis dieselbe Anzahl von Funken übergesprungen ist. Erhält man jetzt beim Entladen eine größere Wirkung als vorhin?

In welchem Verhältnis stehen somit die Mengen der beiden Arten Influenzelektrizität zueinander?

126. Schlagweite. Man verbinde eine stetig wirkende Elektrizitätsquelle, Elektrisiermaschine, mit der inneren Belegung einer Maßflasche, bei der man die Entfernung der beiden einander zugekehrten Punkte der Kugeln bequem messen kann (Fig. 199), und leite die äußere Belegung zur Erde ab. Man drehe die Maschine so, daß zwischen zwei aufeinanderfolgenden Funken jedesmal mehrere

Sekunden, 5 bis 10, liegen. Man verbinde die Kugel der inneren Belegung der Maßflasche mit einem Elektrometer für große Potentiale und beobachte seinen Ausschlag jedesmal kurz bevor der Funken überspringt. Die Kugeln der Maßflasche poliere man recht sauber.

Durch derartige Versuche stelle man die Abhängigkeit des zur Funkenbildung nötigen Potentiales für verschiedene Funkenlängen,

Fig. 199.

Schlagweiten, fest, indem man die Entfernung der Kugeln voneinander ändert. Das Resultat trage man graphisch auf.

Man stelle die Maßflasche unter die Glocke einer Luftpumpe und suche die Abhängigkeit der zur Funkenbildung nötigen Potentialdifferenz vom Druck der Luft.

Man ändere den Durchmesser der Kugeln, von solchen mit unendlich großem Durchmesser, d. h. von ebenen Scheiben, anfangend bis zu Kugeln von ganz kleinem Durchmesser, d. h. bis zu Spitzen. Welche Abhängigkeit ergibt sich für die zur Funkenbildung nötige Potentialdifferenz vom Durchmesser der Kugeln?

Man schraube statt der Kugeln Kegel von verschiedenem Winkel an der Spitze auf die Kugelträger der Maßflasche und bestimme auch hier bei stets gleicher Entfernung der Spitzen die zur Funkenbildung nötige Potentialdifferenz.

127. Elektrizitätsmenge eines Funkens. 1. Man lade eine Leydener Flasche oder eine Batterie von solchen, deren innere Belegung mit dem Stabe eines Elektroskopes verbunden ist, durch eine Maßflasche hindurch und zähle die Funken, welche nötig sind,

damit die Batterie bis auf ein bestimmtes Potential geladen wird. Man ändere die Schlagweite der Maßflasche und zähle wieder die Funken, die nötig sind, dieselbe Batterie auf dasselbe Potential zu laden. Man mache mehrere derartige Versuche, setze die zur vorgeschriebenen Ladung der Batterie nötige, in allen Versuchen also gleiche Elektrizitätsmenge gleich 1, berechne daraus mit Hilfe der Zahl der Funken die Elektrizitätsmenge eines einzelnen und trage diese als Ordinaten, die zugehörigen Schlagweiten als Abszissen in Koordinatenpapier ein. Welche Beziehung hat die hier gefundene Gesetzmäßigkeit zu der in 126 festgestellten Gesetzmäßigkeit zwischen Potentialdifferenz und Schlagweite (122)?

2. Man lade eine Leydener Flasche von bekannter Kapazität durch eine Maßflasche hindurch bis auf ein bestimmtes Potential und bestimme hiernach die Elektrizitätsmenge eines Funkens von bestimmter Schlagweite zwischen Kugeln von bestimmtem Durchmesser.

Dann lade man eine beliebige Batterie durch die ungeänderte Maßflasche hindurch, messe die zugeführte Elektrizitätsmenge durch die Zahl der Funken, das Potential mittels eines mit der inneren Belegung verbundenen Elektroskopes und berechne daraus die Kapazität der Batterie.

128. Dauer des elektrischen Funkens. 1. Man erzeuge mit Hilfe einer sehr schnell, z. B. durch den Elektromotor eines Ventilators, gedrehten Lochsirene und eines Gebläses einen sehr grellen Ton, bestimme dessen Höhe und daraus die Umdrehungszahl der Sirene. Dann verdunkele man das Zimmer, beleuchte die rotierende Sirene mit dem Entladungsfunken einer Leydener Flasche, ohne daß dessen Licht direkt in das Auge fällt, beobachte möglichst genau, um wie viel der Rand eines Loches der Sirene sich während der Dauer der Beleuchtung höchstens gedreht hat, und berechne hieraus die Dauer des elektrischen Funkens.

2. Man beobachte im verdunkelten Zimmer während eines zwischen den Elektroden einer Elektrisiermaschine überspringenden Funkens die bewegte Scheibe der Maschine oder eine andere sich rasch drehende Scheibe mit gemalten Speichen oder Sektoren (Farbenkreisel). Die Scheiben scheinen stillzustehen. Zur Erklärung dieser Erscheinung beachte man, daß der Lichteindruck im Auge mindestens $^1/_7$ Sekunde braucht, um zustande zu kommen und wieder zu verschwinden, d. h. zwei Lichteindrücke, die weniger als $^1/_7$ Sekunden Zeit zwischen sich haben, werden nicht als getrennt wahrgenommen (66).

129. Mechanische Wirkungen des elektrischen Funkens. 1. Man lasse einen kräftigen Funken durch Papier, Kartenblätter, Pappe schlagen, indem man diese Gegenstände vertikal auf einen Entladetisch (Fig. 200) stellt und durch die beiden statt der Kugeln eingeschraubten Spitzen festhalten läßt. Welche Gestalt haben die Ränder des Loches auf beiden Seiten?

Man halte das Kartenblatt so, daß die Metallspitzen nicht genau gegenüber, sondern so stehen, daß die Punkte, in welchen sie das

Kartenblatt berühren, 2 bis 3 cm voneinander entfernt sind. Wird das Blatt an der positiven oder negativen Spitze durchbohrt? Nach welcher Seite sind die Ränder herausgedrückt?

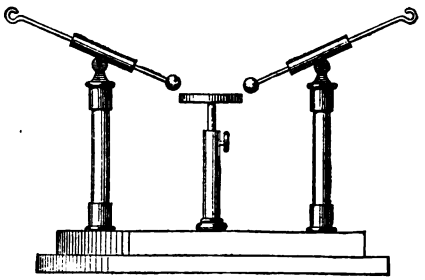


Fig. 200.

Will man Glas durchschlagen lassen, so überziehe man das Glas um die berührenden Spitzen herum mit Paraffin.

130. Goldblattelektroskop mit Kondensator. Man löte in die Mitte einer kleinen runden oder quadratischen Messingplatte eine

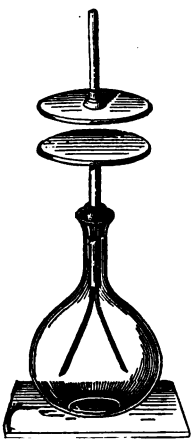


Fig. 201.

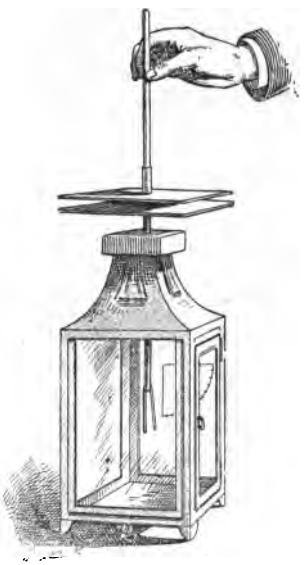


Fig. 202.

kurze Röhre, welche gerade auf den Stab des Elektroskopes paßt. Man kann auch an die Platte einen Metallstab löten, diesen durch einen Kork schieben, am Ende des Stabes die beiden Goldschaum- oder Aluminiumfoliestreifen anbringen und dann den Kork mittels Schellack im Hals einer Flasche befestigen (Fig. 201).

An eine zweite genau gleiche Platte löte man ein Rohr, in welches man einen Griff aus Glas oder Hartgummi einkittet. Die Ecken und Kanten der beiden Platten runde man ab und überziehe dann die vorderen Seiten sorgfältig mit einer isolierenden Lackschicht (I, 4).

Man lege die Platten aufeinander (Fig. 202), führe der unteren Platte (Kollektorplatte) mittels einer Probekugel mehrere Ladungen Elektrizität zu, während man die obere Platte (Kondensatorplatte) auf ihrer nicht lackierten Rückseite mit dem Finger berührt (114, 1). Man hebe die obere Platte isoliert ab und beobachte den Ausschlag.

Wann hat das Elektroskop die größere Kapazität, vor oder nach dem Abheben der oberen Platte (119, 2)? In welchem Falle muß also das Potential größer, in welchem kleiner sein? Bei welcher Kapazität wird geladen, bei welcher beobachtet?

Das Kondensatorelektroskop kann also zum Nachweis von Elektrizitätsmengen von schwachem Potential dienen.

131. Elektrometer. Quadrantenelektrometer. Zum Vergleich kleiner Potentiale konstruiere man ein Elektroskop, das empfindlicher ist als ein gewöhnliches Elektroskop. Man zerschneide eine mit Stanniol belegte kreisförmige Glasplatte oder Scheibe aus Kartonpapier in 4 Quadranten (Fig. 203) und bringe sie mittels vier kleiner Metallstäbchen wieder zum Kreise geordnet, aber mit schmalen Zwischenräumen, horizontal in die Mitte eines viereckigen Glasgehäuses, indem man

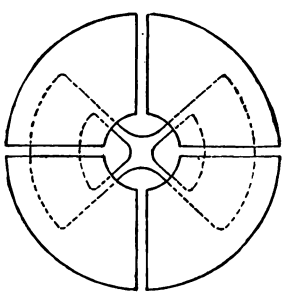


Fig. 203.

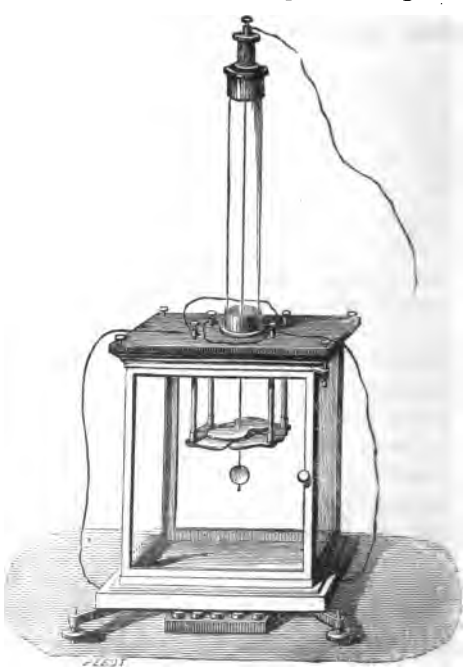


Fig. 204.

die Stäbe isoliert im Deckel befestigt (Fig. 204), aus dem sie oben hervorragen, so daß sie mit kleinen Klemmschrauben versehen werden können. Auf die durchbohrte Mitte des Deckels stelle man

ein Glasrohr, so daß ein sehr feiner Draht, dessen oberes Ende an dem drehbaren Verschluß des Rohres befestigt ist, in das Glasgefäß und durch die Mitte der Quadranten geführt werden kann. Man ziehe diesen Draht durch ein dünnes Aluminiumblatt, dessen Form einer 8 ähnlich ist (vergl. Fig. 203), und befestige es so, daß es dicht über den Quadranten schwebt. Unterhalb der letzteren bringe man am Draht einen kleinen Planspiegel an.

Man drehe mittels des Verschlusses der Glasröhre den Draht so, daß die Aluminiumnadel symmetrisch zu den Quadranten steht (vergl. Fig. 203).

Man verbinde die Klemmschrauben je zweier gegenüberstehenden Quadranten durch einen Draht und setze, damit die Quadrantenpaare stets gleiches aber entgegengesetztes Potential besitzen, sie mit der äußeren bezw. inneren Belegung einer Leydener Flasche oder mit den Polen einer kleinen galvanischen Batterie in Verbindung (vergl. Fig. 204). Wie wird dadurch die Stellung der Aluminiumnadel geändert? Dann führe man der Nadel mittels einer Probekugel eine, zwei, usw. gleiche Ladungen (122) zu, indem man die Probekugel mit dem aus dem Verschluß des Rohres oben hervorragenden Drahtenden in Berührung bringt, und vergleiche die Ausschläge, die man mit Hilfe der Poggendorffschen Spiegelablesung (15 und 36) mißt, mit der zugeführten Elektrizitätsmenge.

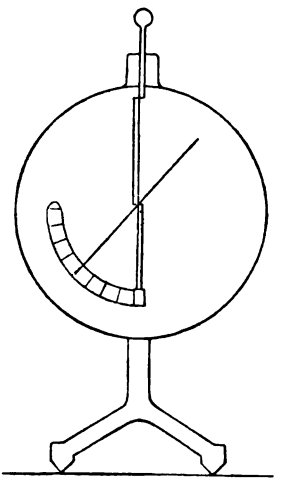


Fig. 205.

Man vergleiche mit dem Elektrometer die Potentiale zweier isolierten Konduktoren von gleicher Kapazität, indem man die Nadel mittels eines vom oberen Ende der Glasröhre ausgehenden Drahtes erst mit dem einen und dann mit dem andern Konduktor verbindet.

Das Braunsche Elektrometer dient zur Messung starker Potentiale. In ein Metallgehäuse, das mit der Erde leitend verbunden ist (117), geht ein Messingstab (Fig. 205); dieser Stab trägt eine leicht bewegliche Aluminiumnadel, deren horizontale Drehungsachse etwas über ihrem Schwerpunkt liegt, damit sich die Nadel in der Ruhelage senkrecht stellen kann. Die Nadel spielt auf einer Skala, welche an dem die Nadel in seiner Mitte tragenden Messingstab befestigt ist.

132. Dielektrika im elektrischen Kraftfeld. Man nähere die positive Konduktorkugel einer Reibungs- oder Influenzelektrisiermaschine der Oberfläche von Terpentin bis auf etwa 7 mm und beobachte das Terpentin (Fig. 206). — 2. Man hänge eine kleine Paraffinstange (Fig. 207) in ihrer Mitte an einem ungedrehten Seidenfaden auf. Man halte eine elektrisierte Metallplatte dicht über das

Ende der Stange und beobachte, wie sie sich in horizontaler Ebene bewegt. Nach welcher Stelle ist die Bewegung gerichtet? Man vergleiche diese Erscheinung mit denjenigen der Bewegungen in einem magnetischen Kraftfeld (79). — 3. Man hänge ein kleines nadelförmiges Paraffinstäbchen horizontal an einem in seiner Mitte be-

Fig. 206.

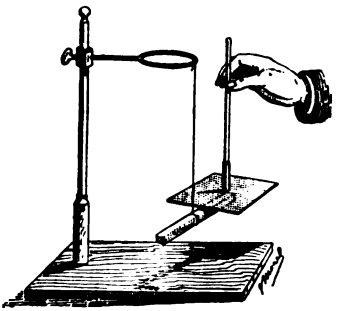


Fig. 207.

festigten Seidenfaden (Fig. 208) auf und nähere ihm eine geladene, isolierte Kugel. Wie stellt sich die Nadel zu den von der Kugel

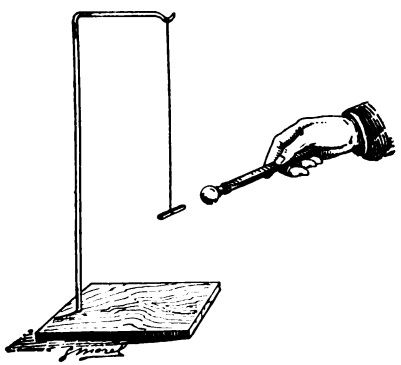


Fig. 208.

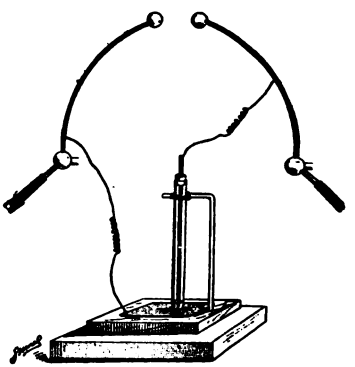


Fig. 209.

ausgehenden Kraftlinien? (113). — 4. Man stelle ein über der Flamme getrocknetes Reagenzglas, das einige Tropfen Petroleum enthält und mit einem Kork geschlossen ist, durch den ein Draht bis in die Flüssigkeit geht, vertikal auf eine auf Paraffin gelegte Zinkplatte (Fig. 209), verbinde diese und den Draht mit den beiden Polen einer durch Kondensatorflaschen verstärkten Influenzelektrisiermaschine und beobachte in den Augenblicken, da zwischen den Konduktorkugeln ein Funke überspringt, das Aufleuchten am Grunde der Röhre. Wenn nach mehreren Versuchen eine Erwärmung und Veränderung des Glases eingetreten ist, wird es von einem starken Funken durchgeschlagen.

133. Eindringen elektrischer Ladungen in Dielektrika. 1. Nachdem man eine Hartgummiplatte oder einen Elektrophorkuchen dadurch, daß man ihn über die Flamme eines Bunsenbrenners führt, getrocknet und gleichzeitig entladen hat, reibe man sie ein wenig, um sie schwach elektrisch zu machen. Welches Vorzeichen hat die Elektrizität? Dann schreibe man mit der Ecke einer Metallplatte (Fig. 210), welche man mit der entgegengesetzten Elektrizität geladen hat, ein Zeichen, Buchstabe oder Wort, auf die Platte. Man halte hierbei die Platte in freier Hand und lege sie nicht auf den Tisch, damit nicht durch Influenzwirkung die Erscheinung gestört werde. Bestreut man die Platte mit einem Gemisch von Schwefelblumen und Mennige, welche man aus einem Gazebeutel darüber pudert, so erscheinen die Buchstaben gelb auf rotem Grund (97).

2. Man lege auf ein mit Paraffin gefettetes Blatt Papier eine Münze und setze diese einige Sekunden lang mit einem Pol der

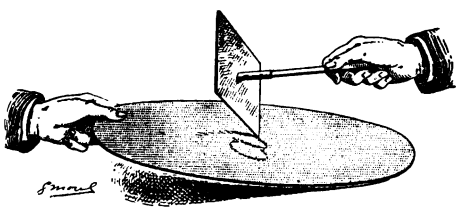


Fig. 210.

Maschine in Verbindung. Dann entferne man die Münze, streue das Gemisch von Schwefel und Mennige auf das Papier und beobachte die beiden Farben des Abdruckes der Münze. Man wechsele die Pole.

3. Man lege eine getrocknete Ebonitplatte zwischen zwei bedeutend kleinere Metallplatten, bringe sie, um einen großen Potentialunterschied zu erzielen, einige Minuten mit den Polen einer Influenzmaschine in Verbindung, entferne die Metallplatten und beobachte die Farben der auf beiden Seiten mit dem Schwefelmennigepulver bestreuten Ebonitplatte. Man bringe die Farben zum Verschwinden, indem man die Platte durch eine Flamme zieht, und reibe die Platte dann auf der Seite, auf der die Farbe positive Elektrizität angezeigt hat, mit einem Katzenfell. Welche Farbe nimmt die Platte jetzt an; wie ändert sich diese aber nach einigen Minuten?

4. Man wiederhole die Versuche 121, 2.

Welchen Schluß kann man aus diesen Versuchen auf die Anordnung der Elektrizität auf Isolatoren ziehen (105).

134. Dielelektrizitätskonstante. 1. Man stelle sich einen einfachen Kondensator her aus zwei genau ebenen Zinkplatten, die man an den Ecken durch vier kleine Paraffinsäulchen trennt (Fig. 211), verbinde beide Platten mit dem Stab bezw. dem Gehäuse des Elektroskopes und bestimme das Verhältnis der Kapazität des Kondensators

zu dem des Elektroskopes (123). Dann lege man eine Paraffinplatte von solcher Dicke zwischen die Zinkplatten, daß sie denselben Abstand haben wie vorher und bestimme wieder das Verhältnis. Aus beiden Resultaten berechne man das Verhältnis der Kapazität des Kondensators bei Benutzung eines Paraffinisolators zu der bei Anwendung einer gleich dicken Luftschicht.

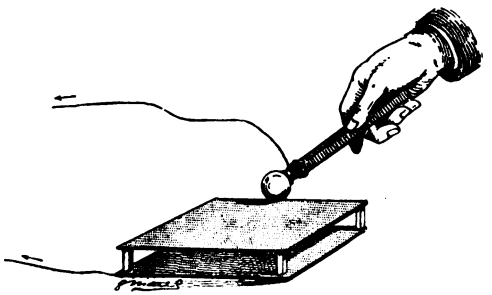


Fig. 211.

Wie ändert sich dieses Verhältnis der Kapazitäten für andere Ladungspotentiale?

Man wiederhole die Versuche für andere Entfernungen der beiden Kondensatorbelegungen und somit auch für andere Dicken der Paraffinplatten und vergleiche die gefundenen Werte miteinander. Die sich ergebende Konstante heißt die „Dielelektrizitätskonstante des Paraffins".

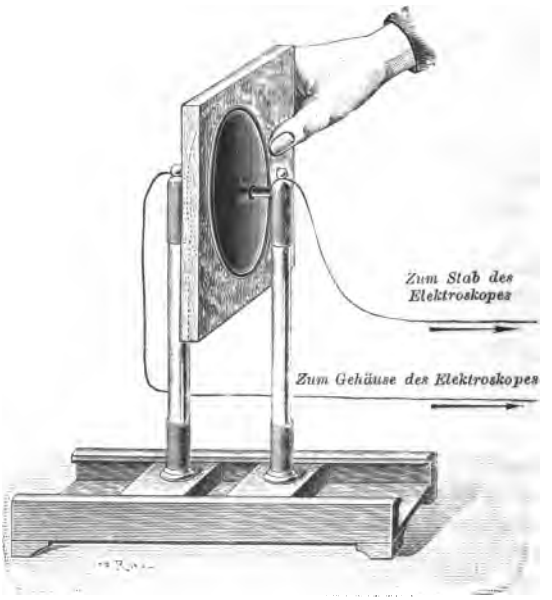


Fig. 212.

Man bestimme in gleicher Weise die Dielektrizitätskonstanten von Ebonit und Glas.

Man lege den Kondensator in eine flache Schale und bestimme

die Dielektrizitätskonstante von Alkohol, Benzol, Äther und anderen isolierenden Flüssigkeiten.

2. Zwischen die Belegungen einer Franklinschen Tafel mit beweglichen Platten (123, 4) halte man Platten von Paraffin, Hartgummi, Glas, Glimmer usw., deren Dicke man genau bestimmt (Fig. 212). Man lade die die dazwischen gehaltene Platte nicht berührenden Belegungen, deren Entfernung voneinander man mißt, auf ein bestimmtes Potential. Dann nehme man die Platte heraus und schiebe die jetzt nur durch Luft getrennten Belegungen so nahe zusammen, bis das Potential wieder denselben Wert erreicht hat. Von dieser Entfernung ziehe man die Dicke der Luftschicht auf den beiden Seiten der Platte des Dielektrikums im ersten Versuche ab und vergleiche dann das Verhältnis der Dicke des Dielektrikums mit der ihr entsprechenden Dicke der Luftschicht mit der oben erwähnten Dielelektrizitätskonstante.

Wie ist die Durchlässigkeit der untersuchten Dielektrika für die elektrischen Kraftlinien im Vergleich mit der der Luft (113) (77, 1).

135. Elektrophor. Man gieße Paraffin, Harz oder Kautschuk in eine metallene Form, lasse erkalten, schmelze die Oberfläche noch einmal und lasse dann völlig erkalten. Als Konduktorscheibe, Elektrophordeckel, nehme man eine Platte aus Zink oder Eisen, die man etwas kleiner macht als die Paraffinplatte (Fig. 213). In die Mitte der Platte löte man eine kurze Metallröhre und in dieser befestige man eine mit Schellack oder Paraffin überzogene Glasröhre oder Siegellackstange. Man reibe den Elektrophor mit einem Katzenfell, setze die Scheibe auf, berühre sie mit dem Finger und hebe sie dann, nachdem man den Finger wieder entfernt hat, isoliert ab. Die Scheibe ist stark elektrisch, so daß man aus ihr Funken ziehen kann. Man prüfe die Elektrizität des Kuchens und diejenige des Deckels durch ein Elektroskop. Man hebe den Deckel ab, ohne ihn berührt zu haben. Warum lassen sich jetz keine Funken herausziehen (114, 2)?

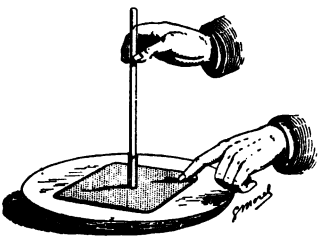


Fig. 213.

Man nehme den Deckel ab, berühre den Kuchen an verschiedenen Stellen, setze dann den Deckel wieder auf und untersuche, ob im Kuchen noch Elektrizität vorhanden ist. Man wiederhole den Versuch, indem man mit der ganzen Handfläche wiederholt über den Kuchen fährt.

Man mache den Kuchen wieder elektrisch, wiederhole den Versuch mit dem Deckel mehrere Male und vergleiche die Größe der Funken miteinander. Der Elektrophor kann also als eine längere Zeit wirkende Elektrizitätsquelle benutzt werden.

136. Wasserinfluenzmaschinen. Prinzip der Selbstverstärkung. 1. Prinzip der einfachen Influenz. Man stelle einen Kugel-

konduktor und einen Eimer isoliert auf (Fig. 214), lade den ersteren durch einmalige Berührung mit einem geriebenen Glas- oder Hartgummistab, nähere ihm einen zweiten, den man durch Berührung

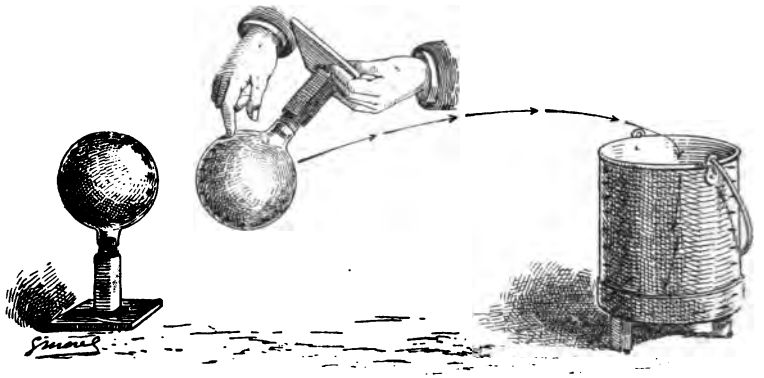


Fig. 214.

mit dem Finger mit der Influenzelektrizität erster Art (114, 2) lädt, tauche dann diesen zweiten Konduktor in den Eimer bis auf den

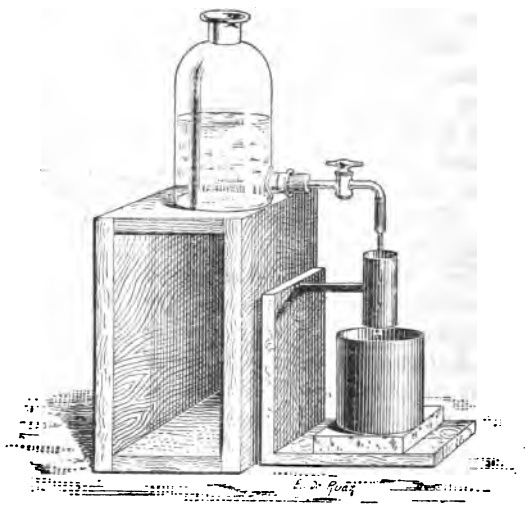


Fig. 215.

Boden und lade den Eimer durch häufiges Wiederholen dieses Versuches. — Die jedesmalige Zunahme der Ladung des Eimers weise man durch ein Elektroskop nach, dessen Stab man mit dem Eimer durch einen Draht verbunden hat.

Man schließe den Seitentubus einer Mariotteschen Flasche (I, 65) durch einen Stopfen, durch den ein Glashahn geht, an den mittels

Kautschukschlauches ein kleines, rechtwinklig gebogenes Glasrohr angefügt ist (Fig. 215). Man stelle die mit Wasser gefüllte Flasche auf eine hohe Unterlage, so daß unter die Glasröhre ein aus zwei rechtwinklig aneinandergenagelten Brettchen bestehendes Stativ ge-

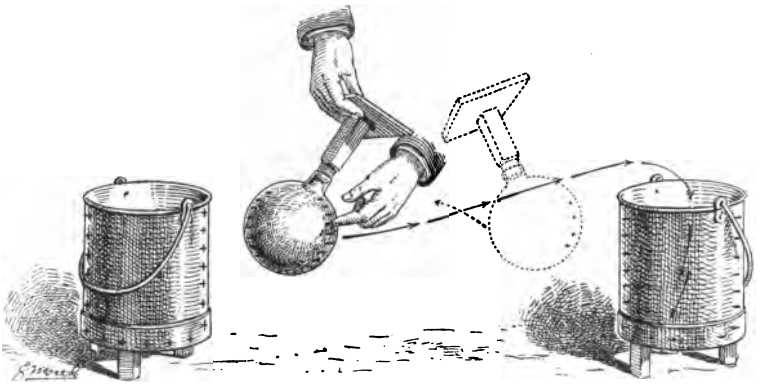


Fig. 216.

stellt werden kann. An der vertikalen Wand dieses Stativs befestige man den Siegellackgriff einer rechtwinklig zu diesem gestellten

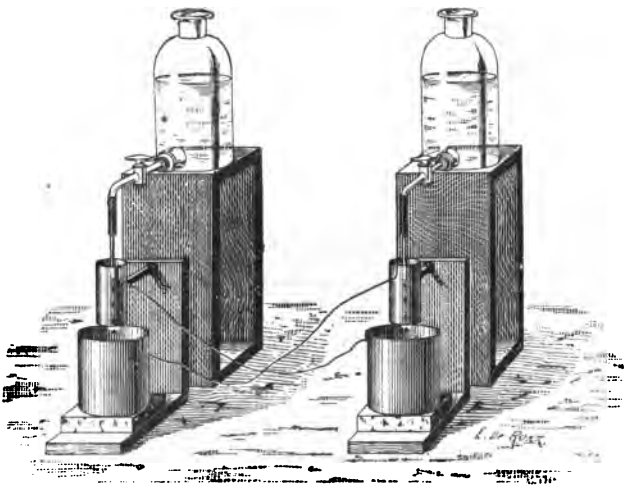


Fig. 217.

Messingröhre, die vertikal unter die Ausflußröhre gestellt wird und zwar in solcher Höhe, daß die Auflösung des Strahles in Tropfen in der Mitte der Röhre vor sich geht. Unter die Messingröhre stelle man isoliert ein Metallgefäß auf, das man durch einen Draht mit einem Elektroskop verbindet.

Man verbinde das Wasser der Flasche leitend mit der Erde, mache die Messingröhre elektrisch, lasse das Wasser tropfenweise fließen und beobachte das Elektroskop, während das Wasser tropft. Sind die Elektrizitäten der Messingröhre und des Elektroskopes gleichnamig oder ungleichnamig (114)? Man zeichne die Kurve, welche die Ausschläge des Elektroskopes als Abszissen, die Zahl der Tropfen als Ordinaten enthält. In welcher Beziehung steht die dem Elektroskop zugeführte Elektrizitätsmenge zur Tropfenzahl?

Man wiederhole den Versuch für eine andere Ladung der Messingröhre und vergleiche für dieselbe Tropfenzahl den Ausschlag des Elektroskopes mit dem im vorigen Versuche.

2. Prinzip der Doppelinfluenz. Man benutze zwei isoliert aufgestellte Eimer (Fig. 216), mache den einen elektrisch, nähere ihm einen isolierten Kugelkonduktor, mache diesen durch Influenz elektrisch und übertrage seine Elektrizität an den andern Eimer, indem man ihn innen berührt. Dann halte man den jetzt unelektrischen Konduktor vor diesen Eimer, mache ihn durch Influenz elektrisch und übertrage die jetzt auf ihm befindliche Elektrizität auf den ersten Eimer. In gleicher Weise fahre man fort, bis beide Eimer ziemlich stark elektrisch sind. Durch Probekugel und Elektroskop untersuche man die Elektrizität jedes Eimers und die der Kugel während der beiden Bewegungen.

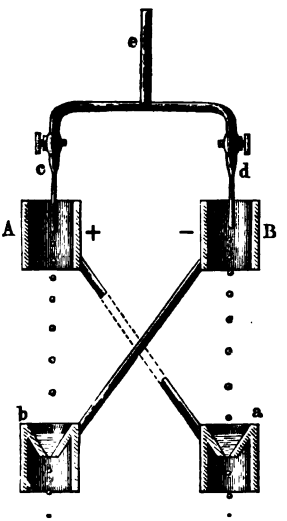


Fig. 218.

Man stelle zwei Wasserinfluenzmaschinen der ersten Art nebeneinander (Fig. 217) und verbinde jede Messingröhre des einen mit dem Auffanggefäß des andern Apparates. Dann mache man eine der beiden Messingröhren elektrisch und lasse in beiden Apparaten das Wasser fließen. Man untersuche mittels des mit einem der Gefäße verbundenen Elektroskopes, ob die Zunahmen der Elektrizitätsmenge eine arithmetische oder geometrische Reihe bilden.

Man ersetze die beiden Mariotteschen Flaschen durch eine einzige, deren Ausfluß man durch ein vorgestecktes T-Stück gabelt. Man untersuche im Anschluß an Fig. 218, ob es jetzt noch nötig ist, das Wasser mit der Erde in Verbindung zu setzen, indem man sich ein Metallgefäß, z. B. *A*, positiv geladen denkt und nun den Weg der beiden Arten der in *A* auf dem Wasser influenzierten Elektrizitäten verfolgt.

Man erprobe das Resultat dieser Überlegung experimentell, indem man das Wasser zunächst mit der Erde verbindet und dann die Verbindung löst. In welchem Fall arbeitet die Maschine besser?

137. Die Influenzmaschine. Die (Holtzsche) Influenzmaschine (Fig. 219) besitzt zwei gefirnißte Glasscheiben, von denen die kleinere mittels Kurbel und Schnurlauf um eine aus Hartkautschuk bestehende Achse gedreht werden kann; die Zapfenlager der Achse sind in zwei von vier Glassäulen getragenen Querbalken aus Hartkautschuk angebracht. Die größere Scheibe, von gläsernen Querstäben gehalten, ist unbeweglich; sie besitzt an zwei gegenüberliegenden Stellen Ausschnitte, an deren Rändern sich Papierbelege befinden, von welchen Papierspitzen durch die Ausschnitte gehen. Den Papierbelegen gegenüber stehen vor der drehbaren Scheibe die Spitzen zweier Kämme aus Messing; die Stiele dieser Kämme gehen durch die Querbalken und enden in Kugeln. Durch diese Kugeln führen dünne

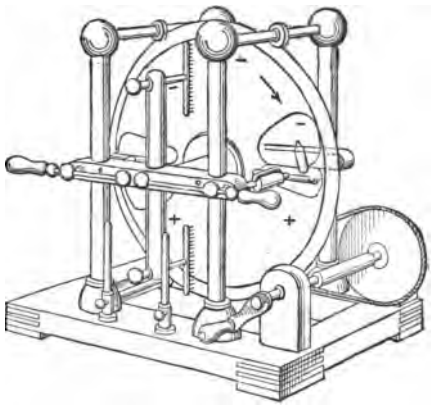


Fig. 219.

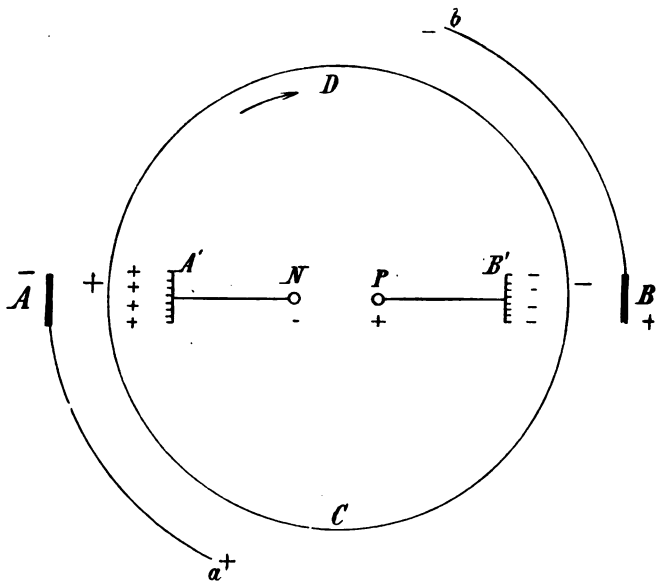


Fig. 220.

Messingstäbe, welche an den äußeren Enden isolierende Handgriffe aus Hartkautschuk, an den inneren kleine Kugeln besitzen.

Man denke sich die drehbare Scheibe dadurch, daß ihr Mittelpunkt nach hinten gezogen wird, während ihr Rand festgehalten bleibt, zu einem Kegel und schließlich zu einem Zylinder umgeformt. Läßt man die übrigen Teile der Maschine an dieser Deformation teilnehmen, so wird die feste Scheibe zu einem den aus der beweglichen Scheibe entstandenen Zylinder umgebenden Zylinder, während die vor der Scheibe befindlichen Kämme und Entladekugeln in das Innere des Zylinders hineinrücken (Fig. 220).

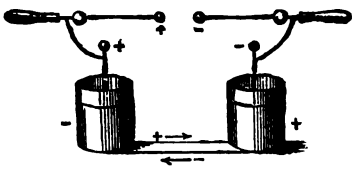


Fig. 221.

Man verfolge nun auch hier wie bei der Wasserinfluenzmaschine den Weg der beiden Arten von Influenzelektrizität, indem man z. B. annimmt, man hätte die Belegung A durch Berühren mit einem geriebenen Hartgummistab negativ elektrisiert. Die positive Influenzelektrizität erster Art sitzt auf der als

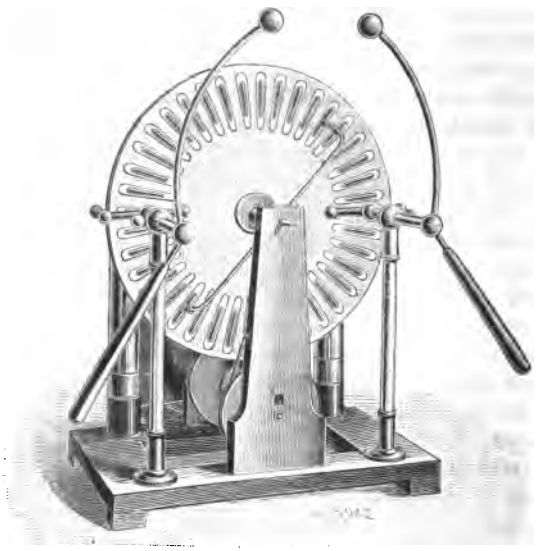


Fig. 222.

Zylinder gezeichneten drehbaren Scheibe und wird mit nach D genommen, während die negative Influenzelektrizität zweiter Art durch die zunächst noch sich berührenden Funkenkugeln N und P, die Pole der Maschine, und die Spitzen B auf den gegenüberliegenden Teil der Glasscheibe übergeht und von hier influenzierend auf die Belegung B wirkt. Sie bindet also hier die positive Elektrizität, während die negative durch die Spitze b der Belegung sich mit der auf der Glasscheibe befindlichen, von A gekommenen positiven ausgleicht, so daß also die Scheibe zwischen der Papierspitze b und dem

Kamme B' frei von Elektrizität ist. Von B' nach C ist die Scheibe mit negativer Elektrizität geladen, welche durch die Papierspitze a in die Belegung A überströmt und dort die Ladung verstärkt.

Man setze die Maschine in Gang und beobachte im Dunkeln die Wirkung der Spitzen. Welche Elektrizität erzeugt an den Spitzen kleine Lichtpünktchen, welche garbenartige Büschel?

Um Funken von großer Elektrizitätsmenge zu erhalten, vergrößert man die Kapazität der Entladungskugeln, indem man unter jede eine mit ihr verbundene Leydener Flasche setzt (Fig. 221). Welche Belegungen der beiden Flaschen müssen miteinander verbunden sein, damit sie sich gegenseitig unterstützen, und wie ist die Bewegung der Elektrizität in der Verbindung während des Ladens und des Entladens durch einen Funken?

Die selbsterregenden Influenzmaschinen (Fig. 222) erzeugen die zum Angehen der Maschine nötige geringe Elektrizitätsmenge selbst. Die drehbare Scheibe trägt auf der Vorderseite eine Anzahl metallischer Wulste, welche beim Drehen an zwei Pinseln von Rauschgold reibend vorüberstreifen und so die ersten Elektrizitätsmengen erzeugen.

138. Wirkung von Spitzen im elektrischen Kraftfeld. 1. Man lade ein Elektroskop, auf dessen Stab eine Kugel aufgeschraubt und dessen Gehäuse mit der Erde leitend verbunden ist, recht kräftig und beobachte die Verluste, welche es erfährt, indem man in bestimmten Zeitintervallen den Ausschlag abliest. Man trage die Beobachtung in Koordinatenpapier ein, indem man die Zeit als Abszissen, die Ausschläge als Ordinaten nimmt. Dann schraube man die Kugel ab, befestige am Stab eine Nähnadel mit der Spitze nach oben, lade das Elektroskop, stelle dieselbe Beobachtung an und trage sie in dasselbe Papier ein. Welche Wirkung hat die Spitze auf die Größe der Verluste in der Zeiteinheit, d. h. auf die Entladungsgeschwindigkeit?

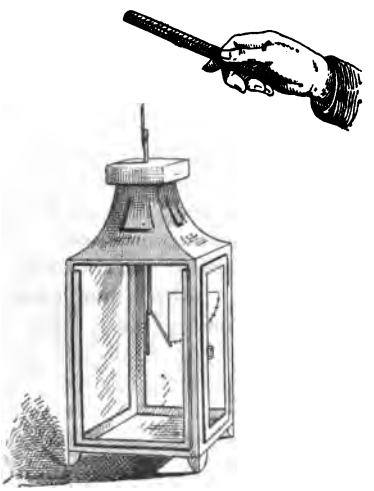


Fig. 223.

Man stelle diese Versuche für verschieden feine Nadeln an. Welche Abhängigkeit von der Spitze ergibt sich für die Restladung?

2. Dem mit einer Nähnadel versehenen, ungeladenen Elektroskop nähere man einen elektrisierten Körper, z. B. einen geriebenen Hartgummistab (Fig. 223), und entferne ihn nach einiger Zeit wieder ohne berührt zu haben. Was beobachtet man (114, 3) unmittelbar, nachdem der Stab entfernt ist?

3. Man lade das mit einer der im ersten Versuche benutzten Nadeln versehene Elektroskop positiv, halte einen geriebenen Hartgummistab in die Nähe der Spitze und zeichne die Beobachtungen wieder in dasselbe Koordinatenpapier; welche Änderung der Entladungsgeschwindigkeit ergeben die Beobachtungen?

Was für eine Änderung der Entladungsgeschwindigkeit erhält man, wenn man dem negativ geladenen Elektroskop mit Nähnadel einen geriebenen Glasstab nähert?

4. Man stelle einen isolierten, mit einer Spitze versehenen Konduktor oder Elektroskop in die Nähe eines der Konduktoren

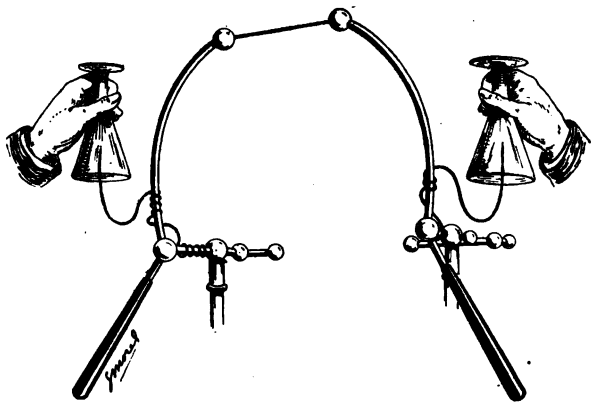


Fig. 224.

einer Elektrisiermaschine. Welche Art von Elektrizität nimmt es an? Welche Elektrizität nimmt es in der Nähe des anderen Poles an?

5. Man hänge einen leichten Stab aus Holundermark an zwei Seidenfäden horizontal auf. In der Mitte des Stabes befestige man nach einer Seite rechtwinklig zur Ebene der beiden Fäden eine feine Nadel. Nähert man einen geriebenen Stab der Spitze, so findet schon Abstoßung statt, ehe noch eine Berührung eingetreten ist. Nähert man den Stab der andern Seite, so findet Anziehung statt. Welche Bedeutung hat die Nadel für diese Erscheinung?

6. Man feile an zwei Drähte recht feine Spitzen und wickele sie um die Träger der Funkenkugeln einer Elektrisier- oder Influenzmaschine, so daß die Spizen frei in die Luft ragen (Fig. 224). Man setze die Maschine in Bewegung und suche die einer bestimmten Umfangsgeschwindigkeit der Scheibe entsprechende größte Funkenlänge. In welcher Beziehung steht diese zur Funkenlänge bei derselben Geschwindigkeit, wenn die Spitzen nicht an der Maschine sind? Den Grund des Unterschiedes erkennt man im verdunkelten Zimmer sofort.

Wie wird die Erscheinung abgeändert, wenn man über die Spitzen Reagenzgläser hält? Man kontrolliere auch diese Beobachtung im verdunkelten Zimmer.

Man untersuche die Reagenzgläser am Elektroskope, bevor und nachdem sie über die Spitzen gehalten worden sind. Wie ist also die Influenzwirkung der Gläser auf die Spitzen? —

Man drehe eine Reibungselektrisiermaschine im verdunkelten Zimmer und beobachte die Spitzen der die geriebene Scheibe umfassenden Kämme. Ebenso beobachte man an einer Influenzmaschine die Spitzen der verschiedenen Kämme. Welchen Zweck haben nach den eben angestellten Versuchen die Spitzen an diesen Maschinen?

Die Wirkung der Spitzen verhindert häufig die gute Beobachtung von Elektroskopen, weil die aus der Spitze irgendeines Konduktors ausgeströmte Elektrizität sich benachbarten Konduktoren mitteilt. Man muß deshalb jedesmal, wenn die benutzten Konduktoren oder Maschinen Spitzen haben, die zur Beobachtung dienenden Elektroskope und Elektrometer sehr weit wegsetzen.

139. Elektrischer Wind und elektrisches Flugrad. Elektrischer Wind. 1. Man biege die Spitze des am positiven Pole der Maschine befestigten Drahtes horizontal und halte während des Drehens der Maschine eine Kerze vor die Spitze (Fig. 225); wie stellt sich die Flamme?

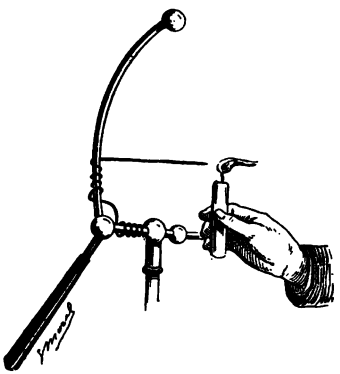


Fig. 225.

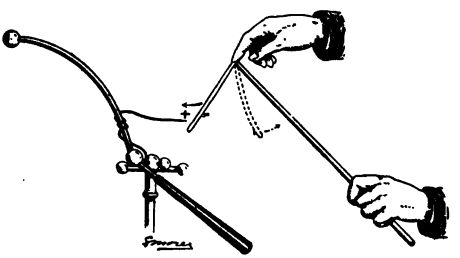


Fig. 226.

Man biege auch die andere Spitze horizontal und halte vor die eine oder die andere die Hand; welches Gefühl hat man?

Um die Stärke des von der Spitze ausgehenden Windes zu beobachten, halte man leichte Pendel aus Isolatoren in die Nähe der Spitze und beobachte, um wie viel sie aus der vertikalen Richtung abgelenkt werden.

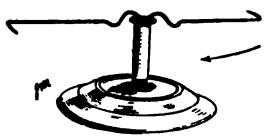
Man stelle sich ein solches zur Messung des Winddruckes geeignetes Pendel her, indem man an einen Glasstab ein Stanniolblättchen anklebt. Wie ändert sich die Erscheinung, wenn man das Blättchen mit dem Finger ableitend berührt (Fig. 226). Wit welcher Erscheinung hängt diese Beobachtung zusammen? (114 und 96.)

Elektrisches Flugrad. 2. Man biege die scharf zugespizten Enden eines Kupferdrahtes rechtwinklig nach entgegengesetzten Richtungen um, wie das Ausflußrohr eines Segnerschen Wasserrades (I, 66), und knicke die Mitte so, daß sich der Draht leicht drehen

kann, ohne umzufallen (I, 17). Diesen Draht lege man auf eine Metallscheibe, Münze, welche auf einer auf einem Porzellanteller aufgeklebten Paraffinsäule, Paraffinkerze, ruht (Fig. 227). Man verbinde die Metallscheibe mit einem Pol einer Influenzmaschine, deren anderer zur Erde abgeleitet ist. Welche Folge des elektrischen Windes, welcher durch die aus den Spitzen ausströmende Elektrizität verursacht wird, beobachtet man?

Kraft des elektrischen Windes. 3. An die Enden einer kräftigen, drehbar aufgestellten Magnetnadel (vergl. unten Fig. 228) befestige man in der horizontalen Ebene mit ihren stumpfen Enden zwei Nähnadeln, deren Spitzen nach entgegengesetzten Seiten zeigen, mit etwas Klebewachs. Man stelle die Magnetnadel isoliert auf und verbinde sie mit dem Pol einer Influenzmaschine.

Man drehe die Influenzmaschine mit möglichst gleichmäßiger langsamer Geschwindigkeit und beobachte die Stellung der Magnetnadel, dann wähle



Fsg. 227.

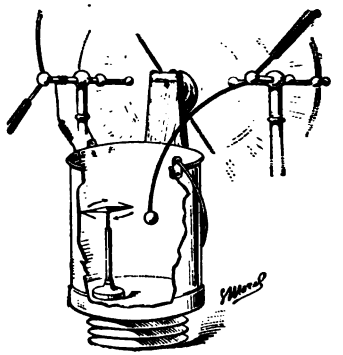


Fig. 228.

man eine größere Drehgeschwindigkeit der Influenzmaschine und beobachte wieder die Stellung der Nadel. Aus dem magnetischen Moment der Nadel (97) und der Horizontalintensität des erdmagnetischen Kraftfeldes (92) berechne man das Drehmoment des elektrischen Flugrades. Welche Abhängigkeit von der Drehgeschwindigkeit der Influenzmaschine ergibt sich für das Drehmoment des Flugrades?

Einwirkung der Influenzelektrizität auf das Flugrad. 4. Man bestimme die Drehgeschwindigkeit der Influenzmaschine, bei welcher das aus der Magnetnadel hergestellte Flugrad gerade den Erdmagnetismus überwindet, also sich in dauernde Rotation setzt. Dann stelle man das Flugrad in einen Eimer (Fig. 228) aus Messing oder Zink, nicht Eisen, der zur Erde abgeleitet ist, und suche wieder die Drehgeschwindigkeit der Influenzmaschine, bei welcher sich das Flugrad gerade in dauernde Rotation versetzt. Ist sie größer oder kleiner als vorher? Man löse die Verbindung des Eimers mit der Erde und stelle ihn auf eine isolierende Unterlage. Wie ist jetzt die nötige Drehgeschwindigkeit der Influenzmaschine? Schließlich löse man die Verbindung des anderen Poles mit der Erde und biege die Entladungskugel dieses Poles in den Eimer. Welche Drehgeschwindigkeit ist jetzt nötig? Wie sind diese Beobachtungen durch die Erscheinung der Influenz bedingt?

Warum darf der Eimer nicht aus Eisenblech sein (75)?

140. Entladung durch Flammen. 1. Man stelle zwei Metallplatten vertikal einander gegenüber, indem man ihre in der Mitte

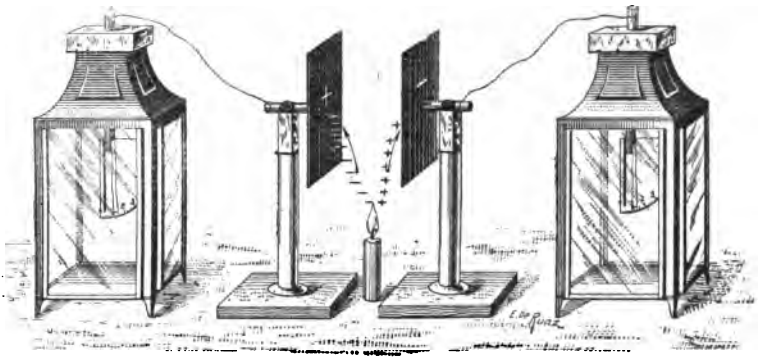


Fig. 229.

angebrachten metallischen Handgriffe auf zwei auf Standgläsern ruhenden Paraffinstücken befestigt (Fig. 229). Man verbinde die Platten mit je einem Elektroskop, lade das eine Elektroskop und beobachte seinen Ausschlag, wenn das andere mit der Erde verbunden ist. Dann stelle man eine brennende Kerze zwischen die

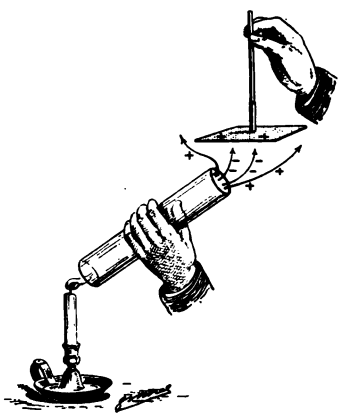


Fig. 230.

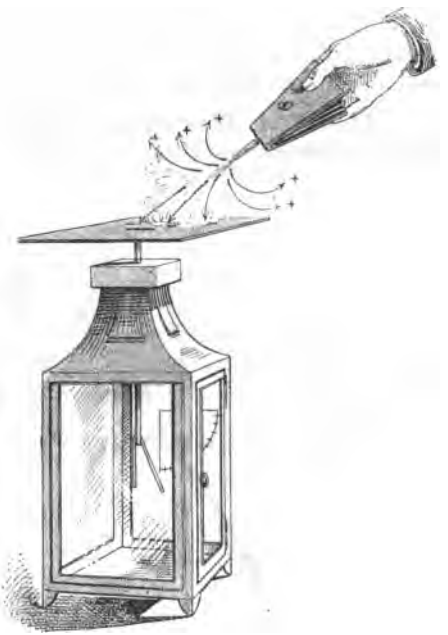


Fig. 231.

Platten, aber etwas tiefer, damit die erwärmte Luft zwischen den Platten hochsteigen kann, entferne die Erdleitung des zweiten Elektroskopes und beobachte beide. Man vergleiche die Ausschläge der Elektroskope. — Man werfe den Schatten der zwischen den Platten auf-

steigenden warmen Luft mittels einer punktförmigen Lichtquelle (11, 2) auf einen Schirm und beobachte den Schatten, wenn die Elektroskope nicht geladen sind, sich also zwischen den Platten kein elektrisches Feld (113) befindet. Dann lade man das eine Elektroskop und beobachte wieder die Schatten und die beiden Elektroskope.

2. Man ziehe einen durch Reiben stark elektrisierten Stab durch die Flammengase und untersuche ihn nachher an einem empfindlichen Elektroskop.

3. Man halte über die Flamme ein Rohr aus Glas oder Metall wie ein Kaminrohr und leite dadurch die Gase aus ihrer vertikalen Richtung ab. In ihre neue Richtung halte man einen stark elektrisierten Körper (Fig. 230), den man nachher am Elektroskop prüft. Haben die Gase ihre entladende Wirkung behalten oder verloren?

4. Nachahmung der Entladung durch Flammen. Auf den Stab eines Elektroskopes stecke man eine Metallplatte, lade das Elektroskop und blase mit einem kleinen Gebläse ein Gemisch von Schwefel und Mennige auf die Platte (Fig. 231). Wie ändert sich das Elektroskop? Man vergleiche diese Änderung mit der im ersten Versuche erhaltenen.

Man blase das festgehaltene Pulver wieder herunter von der Platte. Wie ist jetzt der Ausschlag? Wo war, während das Pulver auf der Platte war, die Ladung des Elektroskopes (130)?

141. Freie Elektrizität in Flammen. 1. Man nähere den mit Kugeln versehenen Polen einer Influenzmaschine eine Kerzenflamme

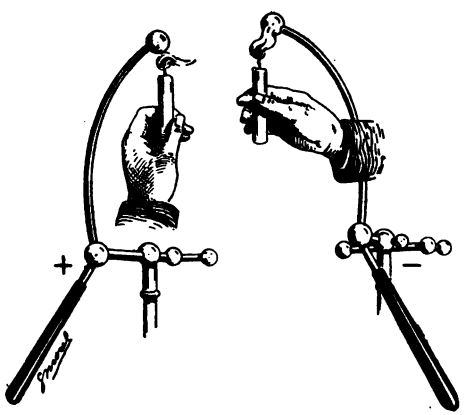


Fig. 232.

(Fig. 232). Welcher Unterschied der beiden Pole zeigt sich? Welche Art der Elektrizität muß also in der Flamme vorhanden sein?

2. Man wiederhole den Versuch über den elektrischen Wind (139, 1), wenn der Draht um den negativen Pol gewickelt ist und das Ende nicht sehr scharf ist. Warum gelingt er dann nicht sicher?

142. Entladungsströme. 1. Elektromotorische Kraft. Man verbinde den Stab eines Elektroskopes mit einem isolierten Kugelkonduktor durch einen Halbleiter, einen Leinen- oder Baumwollenfaden (Fig. 233), lade den Konduktor und beobachte die allmähliche Zunahme des Ausschlages des Elektroskopes. — Man lade nicht den Konduktor, sondern das Elektroskop und verfolge seine allmähliche Entladung.

Man berühre am Schluß eines jeden Versuches den Konduktor und das Elektroskop gleichzeitig durch einen an einem isolierenden Griff gehaltenen Metallstab und beobachte, ob zwischen beiden völliges Gleichgewicht des elektrischen Zustandes eingetreten ist. Man muß also die zwischen beiden Körpern bestehende Potentialdifferenz als die Ursache des durch den Halbleiter fließenden „elektrischen Stromes"

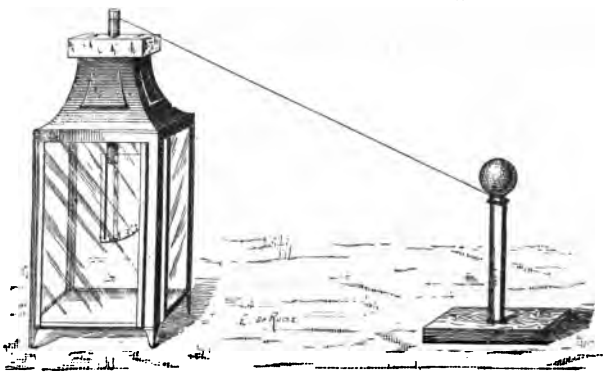


Fig. 233.

ansehen und bezeichnet sie daher als die die Elektrizität bewegende „elektromotorische Kraft".

Welchen Ausschlag erreicht das geladene Elektroskop, wenn es durch den Faden mit dem ungeladenen kleinen Konduktor und dieser weiter mit dem Gehäuse des Elektroskopes verbunden ist?

2. Elektrischer Strom. Man verbinde das Elektroskop mit der kleinen Standkugel und diese mit dem Gehäuse des Elektroskopes, lade das Elektroskop und erhalte seinen Ausschlag konstant, indem man mit einer kleinen Probekugel aus einer Batterie von recht großer Kapazität stets so viel Elektrizität wieder zuführt, wie verloren gegangen, fortgeströmt, ist. Man nehme für den vorliegenden Versuch als Einheit der Elektrizitätsmenge die von der Probekugel mit einem Male übertragene und zeichne nach diesem Maße die übertragene und somit auch fortgeströmte Elektrizitätsmenge als Funktion der Zeit in Koordinatenpapier ein. Welche Abhängigkeit der weggeströmten Elektrizitätsmenge von der Zeit ergibt sich aus der Beobachtung?

Man bezeichnet die in der Zeiteinheit durch den Querschnitt des Leiters strömende Elektrizitätsmenge als Stromstärke. Welche

Abhängigkeit der Stromstärke von der Zeit haben die Versuche ergeben?

3. Abhängigkeit der Potentialdifferenz von der Länge und dem Querschnitt des Leiters. Man stelle mittels zweier Zinkplatten und vier kleiner Paraffinstückchen einen Plattenkondensator mit isolierender Luftschicht her (Fig. 234) oder benutze irgendeinen anderen Kondensator von großer Kapazität, verbinde die eine Belegung mit dem Stabe, die andere mit dem Gehäuse eines Elektroskopes durch Kupferdrähte; man verbinde ferner die mit dem Gehäuse in leitender Verbindung stehende Belegung mit dem Stabe durch einen Leinenfaden, der auf einen Teil seiner Länge doppelt gelegt ist, und, um nicht mit der Erde leitend verbunden zu sein, durch einen auf einem Brett befestigten Siegellackstab gestützt wird.

Man lade den Kondensator und das Elektroskop und lasse durch einen Gehilfen die Potentialdifferenz konstant erhalten, indem

Fig. 234.

er durch eine Probekugel auf der nicht mit dem Leinenfaden verbundenen Platte die Verluste sofort durch neue Elektrizitätsmengen ersetzt, so daß der Ausschlag des Elektroskopes konstant bleibt. Dann führe man zwei Probekugeln, die mit Stab und Gehäuse eines zweiten, isoliert aufgestellten Elektroskopes durch Metalldrähte leitend verbunden sind, so am Leinenfaden entlang, daß die gegenseitige Entfernung der Kugeln stets dieselbe bleibt. Wie ändert sich der Ausschlag des zweiten Elektroskopes? In welcher Beziehung stehen also die an verschiedenen Stellen des Leiters zwischen zwei gleichweit entfernten Punkten desselben gemessenen Potentialdifferenzen zueinander? Man ändere die Entfernung dieser Punkte, d. h. die der Kugeln, und vergleiche die Ausschläge miteinander.

Man halte die beiden Probekugeln längs eines der beiden nebeneinander laufenden Leinenfäden in solcher Entfernung voneinander, daß das zweite Elektroskop denselben Ausschlag wie in den ersten Versuchen zeigt. Man vergleiche die jetzige Entfernung der Kugeln mit der vorher gemessenen. In welcher Beziehung steht demnach bei konstantem Strom die Potentialdifferenz an den Enden eines Leiterstückes zu Länge und Querschnitt des Leiters?

4. Abhängigkeit der Stromstärke von der Potentialdifferenz. Man verbinde Stab und Gehäuse des Elektroskopes durch

einen längeren, durch Siegellackstab gestützten Leinenfaden miteinander und, um die Kapazität des Elektroskopes zu erhöhen (123), mit einem Kondensator von großer Kapazität (Fig. 235). Man lade das Elektroskop, beobachte den Ausschlag zu Beginn des Versuches und in Zeiträumen von je einer Viertelminute und berechne die in derselben Zeit erfolgende Abnahme der Potentialdifferenz. Man zeichne die Kurve, welche diese Abnahme als Funktion der zu Beginn jeder Beobachtung noch vorhandenen Potentialdifferenz darstellt. Wie kann man aus der Abnahme der Potentialdifferenz die Menge der weggeströmten Elektrizität ableiten (122), und welche Abhängigkeit der Stromstärke von der Potentialdifferenz an den Enden des Leiters

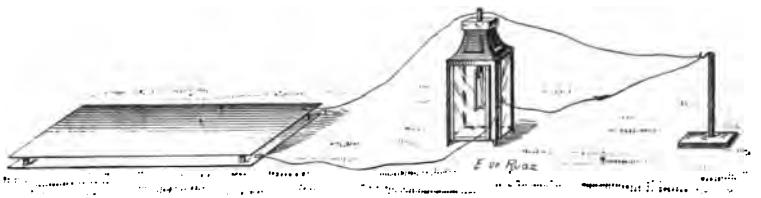


Fig. 235.

ergeben demnach die Versuche, wenn man die Kapazität des Kondensators und Elektroskopes als Einheit nimmt?

5. Abhängigkeit der Stromstärke von der Länge und dem Querschnitt des Stromleiters. Man wiederhole den Versuch, indem man Fäden von doppelter oder dreifacher Länge wie vorher benutzt, oder indem man auf dieselbe Länge den Faden doppelt oder dreifach legt. Man beginne jeden Versuch mit derselben Potentialdifferenz des Elektroskopes wie im vorigen Versuch und beobachte wieder die Abnahme der Potentialdifferenz in Zeiträumen von je einer Viertelminute. Man vergleiche diese Abnahme für dieselben Beobachtungszeiten des vorigen und des neuen Versuches miteinander. In welcher Beziehung steht die Stromstärke zur Länge und zum Querschnitt des Stromleiters?

143. Entladungselektroskop. Man stelle auf den Boden eines Elektroskopes einen kleinen Kupferdraht so auf, daß das Blättchen bei irgend einem Ausschlag gegen den Draht stößt und dadurch seine Ladung verliert (Fig. 236). Damit das Blättchen nicht am Draht haften bleibt, klopfe man fortwährend, vielleicht mit einer elektrischen Klingel, deren Glocke man entfernt hat, gegen das Gehäuse. Man verbinde den Stab dieses Entladungselektroskopes mit dem eines anderen Elektroskopes durch einen Leinenfaden, die beiden Gehäuse durch einen Draht. Stab und Gehäuse dieses zweiten Elektroskopes verbinde man leitend mit einem Kondensator (Fig. 237).

Fig. 236.

1. Abhängigkeit der Stromstärke von der Potentialdifferenz. Man halte die Potentialdifferenz des Kondensators mittels einer Probekugel konstant und zähle die in einer bestimmten Zeit (z. B. drei Minuten) erfolgenden Entladungen des Entladungselektroskopes. Dann bringe man den Kondensator und das mit ihm verbundene Elektroskop auf andere Potentialdifferenzen, halte diese

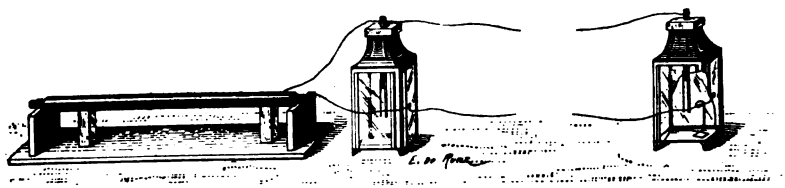


Fig. 237.

wieder konstant und zähle für dieselbe Zeit wie im ersten Versuch die Entladungen des Entladungselektroskopes. In welcher Beziehung steht demnach die Stromstärke zur Potentialdifferenz?

2. Abhängigkeit der Stromstärke von der Länge und dem Querschnitt des Stromleiters. Man nehme Fäden von doppelter oder dreifacher Länge in doppelten oder dreifachen Lagen, halte für alle Versuche dieselbe Potentialdifferenz wie in einem der vorigen Versuche aufrecht und vergleiche das Verhältnis der in derselben Zeit erfolgenden Entladungen mit dem der Längen bezw. der Querschnitte der Stromleiter.

144. Magnetische Wirkungen des Entladungsstromes. 1. Man lege eine unmagnetische Stricknadel in eine Glasröhre, um welche

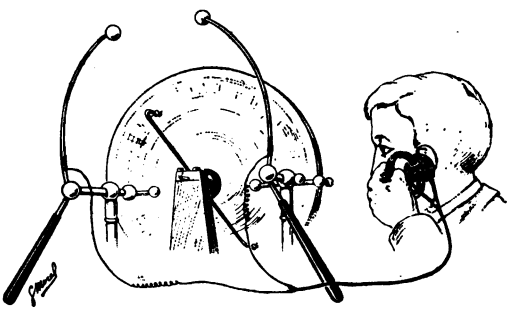


Fig. 238.

spiralförmig Draht gewunden ist, und lasse durch diesen die Entladung einer Leydener Flasche gehen. Man prüfe die Nadel auf Magnetismus (69). — 2. Man verbinde die beiden Elektroden einer Influenzmaschine mit einem Telephon (Fig. 238). Die Geräusche werden durch die kurze Dauer der Ströme hervorgerufen. Hat man eine selbsterregende Maschine zur Verfügung, so merkt man bei langsamem Gehen der Maschine, daß die einzelnen Stöße der Geräusche beim

Vorübergang der auf der Scheibe befindlichen Metallsektoren vor den Saugkämmen entstehen, also wenn hier die Entladungen der Sektoren stattfinden. — 3. Man verbinde die Klemmen eines empfindlichen Galvanometers durch gut isolierten Draht mit den Polen einer Influenzmaschine (Fig. 239) und beobachte die Richtung der Ausschläge;

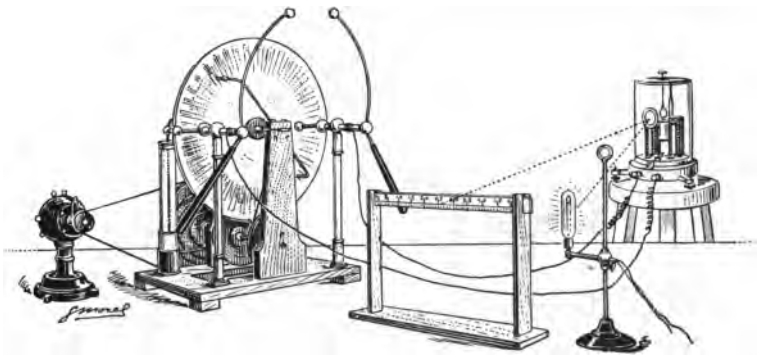


Fig. 239.

dann ändere man die Richtung des Entladungsstromes und beobachte wieder die Ausschläge. Man beobachte ferner bei wachsender Geschwindigkeit der Umdrehung der Scheibe, wenn man die Klemmen des Galvanometers noch durch einen Draht verbindet.

145. Chemische Wirkungen des Entladungsstromes. Man löse 0,3 g Stärke in 25 ccm kaltes Wasser, lasse unter beständigem Umrühren sieden, füge 0,1 g Kaliumjodid und 0,1 g Natriumkarbonat hinzu und verdünne auf 100 ccm. Man überziehe befeuchtetes, aber nicht geleimtes Papier mit dieser Lösung. Man lege von solchem Papier ein angefeuchtetes Stück auf eine Glasplatte und halte die Enden zweier mit den Elektroden einer Reibungselektrisier- oder Influenzmaschine verbundenen Kupferdrähte auf das Papier. Läßt man die Maschine nur wenige Augenblicke gehen, so entsteht auf dem Papier an der Stelle, wo einer der Drähte berührt, ein blauer Punkt. Mit welchem Pol war dieser Draht verbunden?

146. Wärmewirkungen der Entladung. 1. Man spanne einen dünnen Neusilberdraht zwischen die beiden Knöpfe des Entladers (Fig. 240), verbinde den einen Knopf mit der äußeren Belegung einer Batterie Leydener Flaschen, den andern mit einem Knopf eines gewöhnlichen Entladers und nähere seinen zweiten Knopf der inneren Belegung der sehr stark geladenen Batterie. Was geschieht mit dem Draht?

2. Man führe zwei dünne Kupferdrähte durch zwei mittels Korkes in einem Brett befestigte Glasröhren, biege die Drähte oben und unten um und verbinde sie unten durch einen sehr feinen Eisendraht. Man stelle das Brett in ein mit Wasser gefülltes Glas, verbinde den einen Kupferdraht mit dem einen Pol einer sehr stark

geladenen Batterie und bringe den andern Pol durch einen Entlader in Verbindung mit dem zweiten Kupferdraht (Fig. 241). Zur Vorsicht umgebe man die Glasröhre mit einem Tuch. Welche Erscheinung beobachtet man?

3. Man stelle auf das Tischchen des Entladetisches ein Gefäß mit Alkohol oder Äther und entzünde diese, indem man einen

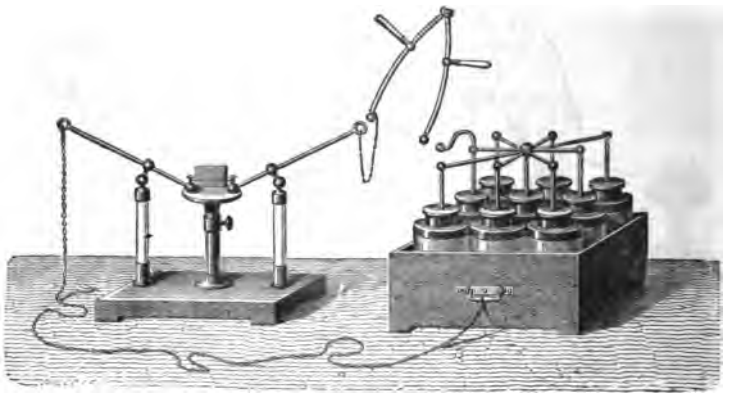


Fig. 340.

schwachen Funken auf die Oberfläche der Flüssigkeit schlagen läßt. Um Schießpulver zu entzünden, muß man die Entladung durch einen

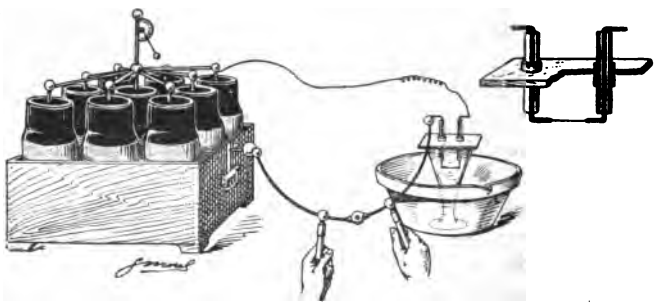


Fig. 241.

schlechten Leiter, z. B. eine feuchte Hanfschnur, verlangsamen oder man muß es in eine Federpose stopfen.

147. Mechanische Arbeit. Elektrische Energie. 1. Man bringe ein elektrisches Pendel zwischen zwei isolierte Konduktorkugeln, die mit den Elektroden einer Influenzmaschine verbunden sind (Fig. 242). Das Pendel gerät in Schwingungen, sobald die Maschine gedreht wird. Man halte die Maschine an. Das Pendel schwingt eine Zeitlang weiter, solange zwischen beiden Kugeln noch ein kleiner Potentialunterschied besteht. — Man kann die beiden Kugeln auch

mit den Belegungen einer stark geladenen Leydener Flasche, oder die eine mit dem Elektrophordeckel verbinden, die andere zur Erde ableiten. — 2. Man bringe ein an einem Seidenfaden hängendes Metallkügelchen zwischen zwei Metallglocken, von denen die eine isoliert aufgestellt und mit einem Konduktor der Elektrisiermaschine, die andere leitend mit der Erde verbunden ist (Elektrisches Glockenspiel). Woher kommt die Energie, um diese, wenn auch kleinen, mechanischen Arbeiten zu leisten. — 3. Man drehe eine Influenzmaschine, einmal während sie nicht geladen, dann während sie geladen ist, und beachte den Unterschied in den zu leistenden Arbeiten. — 4. Man verbinde die Elektroden einer starken Influenzmaschine durch beliebig lange auf isolierenden Stützen ruhende Drähte mit den Kämmen einer zweiten, deren Riemen gelöst ist (Fig. 243). Man drehe die erste oder lasse sie durch einen Elektromotor drehen und gebe der drehbaren Scheibe der zweiten einen kleinen Stoß: die Scheibe gerät in rasche Umdrehung.

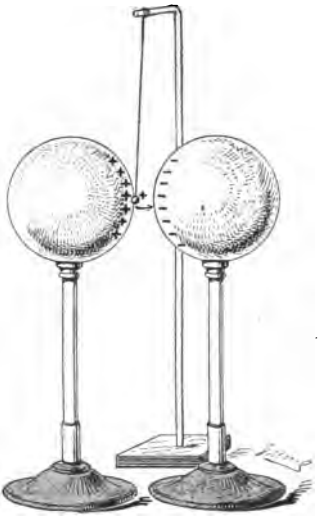


Fig. 242.

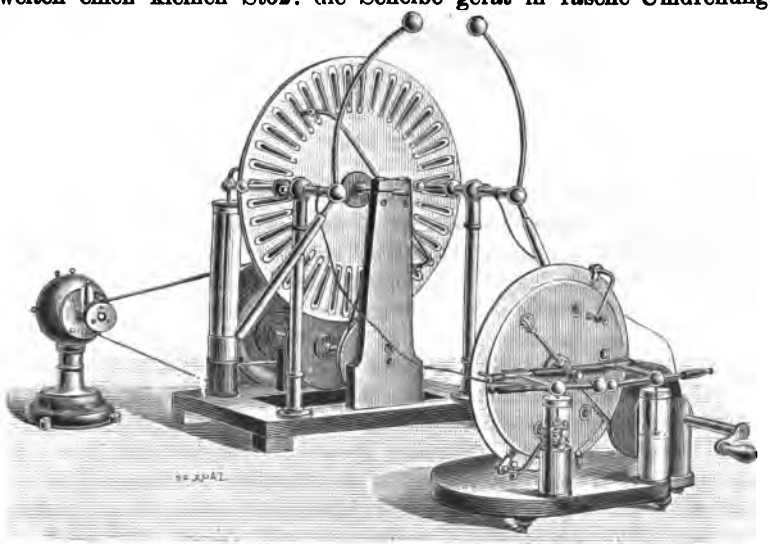


Fig. 243.

Man vergleiche die Richtung dieser Drehung mit der Drehrichtung, wenn man mit der Maschine Elektrizität erzeugt. Wie findet hier

die gegenseitige Umwandlung von mechanischer Arbeit und elektrischer Energie ineinander statt? — 5. Wie wird beim Laden der Eimer durch Influenz (136, 1 u. 2) die Arbeit geleistet, welche das Äquivalent der in der Elektrizität des Eimers aufgespeicherten elektrischen Energie ist?

148. Elektrische Energie. Kalorimeter. 1. Um die Größen festzustellen, von denen die elektrische Energie abhängt, verwandelt man sie in Wärme und mißt diese; man braucht aber dazu, weil man mit elektrostatischen Hilfsmitteln nur sehr geringe Mengen von elektrischer Energie in Bewegung setzen kann, sehr empfindlicher Kalorimeter.

Ein kleines Reagenzglas fülle man mit 10 bis 15 g reines Wasser, umwickele es mit Watte, Filz oder dergl., um es gegen Wärmeaustausch mit der Umgebung zu schützen, und schließe es

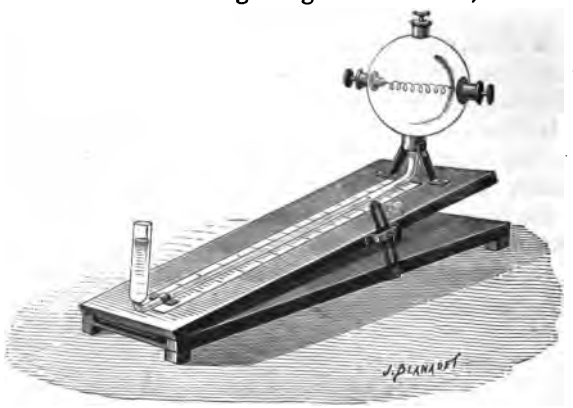


Fig. 244.

mit einem dreifach durchbohrten Kork. Durch die mittlere Bohrung stecke man ein feines Thermometer, welches mindestens die Fünftelgrade abzulesen gestattet. Durch die seitlichen Bohrungen führe man in Glasröhren mit Siegellack eingeklebte Kupferdrähte, von denen der eine, wieder etwas nach oben gebogene, bis auf den Boden reicht, während der andere nur gerade in das Wasser eintaucht.

2. Ein bedeutend empfindlicheres Kalorimeter ist das von Rieß angegebene Luftthermometer (Fig. 244). Eine große Kugel sitzt auf einem langen, auf einem Brett mit Skala aufgeschraubtem Rohre, dessen anderes, aufrecht stehendes Ende ein Trichterrohr bildet. Die Kugel trägt an den Enden eines horizontalen Durchmessers zwei durch die Wandung hindurchgehende Klemmschrauben, zwischen denen innen ein Leiter gespannt ist, meist ein recht feiner, zu einer Spirale aufgewickelter Platindraht. Oben trägt die Kugel eine luftdicht verschließbare Öffnung, um die Kugel mit Luft von Atmosphärendruck füllen zu können. Ein Teil des Meßrohres und des Trichters sind mit gefärbtem Wasser oder Petroleum gefüllt. Wird auf irgend

eine Weise der Platindraht erwärmt, so wird die Luft in der Kugel warm, wegen des konstanten Volumens steigt der Druck (I, 183), und es wird sich der Meniskus der Flüssigkeit im Meßrohr nach unten verschieben. Diese Verschiebung ist ein Maß für die vom Draht abgegebene Wärme.

3. In etwas einfacherer Form kann man sich ein Luftthermometer herstellen, indem man ein Becherglas, welches man mit Filz, Wolle u. dergl. wärmedicht einpackt, mit einem dreifach durchbohrten Kork luftdicht schließt. Durch die beiden seitlichen Öffnungen führt man zwei in Glasröhren eingekittete dicke Kupferdrähte, zwischen welche man innen die Platindrahtspirale spannt. Durch die mittlere Öffnung führt man das Meßrohr, ein langes Glasrohr, dessen Enden so weit nach entgegengesetzten Seiten umgebogen sind, daß sie mit dem Rohr einen Winkel bilden, der etwas kleiner ist als ein Rechter. Das eine dieser umgebogenen Enden erweitert man zu einem Trichterrohr, das andere wird durch den Kork in das Becherglas gesteckt. An dem Rohr selbst befestigt man einen Maßstab und gießt dann die Meßflüssigkeit in den Trichter.

Abhängigkeit von der Elektrizitätsmenge. 4. Man verbinde den einen Pol einer Influenzmaschine leitend mit dem einen Pol des isoliert aufgestellten, eben beschriebenen Wasserkalorimeters (148, 1). Den anderen Pol des Kalorimeters setze man in leitende Verbindung mit der inneren Belegung einer Maßflasche, während man deren äußere Belegung ebenso wie den anderen Pol der Influenzmaschine zur Erde ableitet. Alle Leitungsdrähte isoliere man mittels Glas- oder Siegellackstangen gegen Berührung.

Man lese die Temperatur möglichst genau ab, lasse eine Anzahl Funken über die Funkenstrecke der Maßflasche schlagen und lese wieder die Temperatur des Kalorimeters ab. Dann lasse man eine andere Anzahl von Funken übergehen und lese wieder die Temperaturzunahme ab. Eine Anzahl derartiger Versuche trage man in Koordinatenpapier ein, indem man die durch die Funkenzahl gegebene Elektrizitätsmengen als Abszissen, die zugehörigen durch die Temperaturzunahme gemessenen Wärmemengen als Ordinaten einzeichnet. Wie hängt die der Wärmemenge proportionale elektrische Energie von der Elektrizitätsmenge ab?

Abhängigkeit vom Potential. 5. Man stelle sich eine Anzahl, vielleicht vier, Franklinsche Tafeln von genau gleicher Kapazität her, indem man von den Belegungen der größeren so viel abschneidet, bis Gleichheit erreicht ist. An den Belegungen befestige man leitend kleine Haken, um die Verbindungen bequem abändern zu können. Man lade zunächst eine solche Tafel durch eine Maßflasche, entlade sie durch das Luftthermometer und lese dessen Ausschlag ab. Dann verbinde man zwei nebeneinander und führe ihnen die doppelte Elektrizitätsmenge durch die Maßflasche hindurch zu. Wie ist ihr Potential im Vergleich mit dem der vorher benutzten einen Tafel (122)? Man ändere jetzt die Verbindung zu einer Kaskadenbatterie

(124), indem man mit isolierenden Griffen die Verbindungsdrähte abnimmt und in der neuen Anordnung auflegt. Wie wird dadurch die Elektrizitätsmenge einer Belegung und die Potentialdifferenz zwischen erster und letzter Belegung, beides verglichen mit der Ladung der einfachen Tafel? Man entlade diese Batterie durch das Luftthermometer und lese dessen Ausschlag ab. Ebenso lade man drei und nachher vier nebeneinander geschaltete Tafeln, ordne ihre Schaltung hintereinander um und entlade sie durch das Luftthermometer. Welche Abhängigkeit der entwickelten Wärme, also auch der elektrischen Energie, von dem Potential ergibt sich hieraus?

Nach jedem Versuch fülle man die Kugel des Luftthermometers mit frischer Luft.

Abhängigkeit von der Kapazität. 6. Man vereinige die beiden, eben gefundenen Abhängigkeiten der elektrischen Energie von der Elektrizitätsmenge und vom Potential zu einem Gesetz, ersetze in diesem das Potential mit Hilfe der Beziehung des Potentiales zu Kapazität und Elektrizitätsmenge und prüfe die dadurch erhaltene Abhängigkeit der elektrischen Energie von der Kapazität bei stets gleicher Elektrizitätsmenge, indem man einmal einer einzelnen Tafel eine bestimmte Elektrizitätsmenge zuführt und diese dann durch das Luftthermometer entladet, dann zweien nebeneinander geschalteten Tafeln dieselbe Menge Elektrizität zuführt und wieder entladet usw.

Welche Abhängigkeit von der Kapazität der benutzten Batterie zeigen die den Entladungen entsprechenden Ausschläge im Meßrohr?

Man wiederhole diese vier Versuche, indem man mit der doppelten Funkenzahl der Maßflasche die doppelte Elektrizitätsmenge zuführt. Wie verhalten sich jetzt die Ausschläge zueinander und zu den soeben erhaltenen?

Wie ist auf Grund dieser Versuche die Abhängigkeit der elektrischen Energie von Elektrizitätsmenge und Potential, bezw. von Elektrizitätsmenge und Kapazität, bezw. schließlich von Potential und Kapazität?

---

149. Berührungselektrizität. 1. Man schraube auf ein Elektroskop eine Zinkplatte, lege auf diese eine etwas größere, möglichst dünne Glas- oder Glimmerplatte und auf diese ein Stück Fließpapier von der Größe der Zinkplatte. Auf das Papier träufle man etwas verdünnte Schwefelsäure, so daß das Papier sich vollsaugt und glatt anliegt. Man berühre mit einem gebogenen Streifen Zinkblech, an dessen Enden sich zwei Griffe aus Siegellack befinden, gleichzeitig Zinkplatte und Papier und beobachte das Elektroskop. Dann entferne man den Metallstreifen, ferner vorsichtig Glasplatte nebst Papier und beobachte wieder das Elektroskop. Ist die Elektrizität positiv oder negativ (97)? Man lege nach Entladung des Elektroskopes wieder die Glasplatte mit dem Papier auf die Zinkplatte. Welche Elektrizität zeigt das Elektroskop jetzt an? Welche Bedeutung hat demnach bei diesen Versuchen die Glasplatte (130)?

Man wiederhole beide Versuche mit einer Kupferplatte. Welche Elektrizität zeigt das Metall, welche die Flüssigkeit? Man vergleiche die Größen der Ausschläge der mit Zink, bezw. Kupfer angestellten Versuche und beachte, daß von beiden Metallen Zink stärker von der Schwefelsäure angegriffen wird als Kupfer.

2. Man versehe zwei wenig gekrümmte Streifen Zink und Kupfer in der Mitte mit je einem isolierenden Handgriff, drücke das Ende des Zinkstreifens gegen die untere Kondensatorplatte eines Goldblattelektroskopes, lege auf das andere Ende ein kleines Stückchen mit verdünnter Schwefelsäure getränktes Fließpapier und drücke den Kupferstreifen mit dem einen Ende auf die obere Kondensatorplatte, mit dem andern auf das Fließpapier. Man entferne die beiden Streifen und hebe die obere Platte isoliert ab. Welche Elektrizität zeigt das Elektroskop an? Man wiederhole den Versuch, indem man den Kupferstreifen an die untere, den Zinkstreifen an die obere Kondensatorplatte hält. Welche Elektrizität wird jetzt angezeigt? Zur Erklärung dieser Erscheinung beachte man die vorhergehenden Versuche.

3. Man stelle ein Zink- und ein Kupferstäbchen, an die man zwei Drähte angelötet hat, in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Reagenzglas („Voltasches Element"), verbinde zuerst den einen, dann den andern Stab mit der Nadel des Quadrantenelektrometers, dessen Quadrantenpaare mit den Belegungen einer geladenen Leydener Flasche verbunden sind, während der Draht des zweiten Stabes zur Erde abgeleitet ist. Man ändere die Größe der Berührungsflächen der Schwefelsäure mit dem Zink- oder dem Kupferstäbchen, bezw. beiden gleichzeitig. Wie ändert sich dadurch der Ausschlag? Man ersetze das Kupferstäbchen durch einen Platin-, Gold- oder Silberdraht. Wie ändert sich jetzt der Ausschlag? Wovon ist er also abhängig?

150. Galvanischer Strom. Man wiederhole einen der in der vorigen Nummer angestellten Versuche, etwa den zweiten, mehrmals hintereinander, indem man jedesmal das Elektroskop entlädt. Das Element kann demnach als eine selbstwirkende Elektrisiermaschine (101) angesehen werden. Welches Drahtende kann man als den positiven, welches als den negativen Pol bezeichnen? Die Kraft, welche die Potentialdifferenz (112) immer wieder erzeugt und dauernd wirken würde, wenn die beiden, die Kondensatorplatten berührenden Enden des Zink- und des Kupferstreifens metallisch verbunden wären, d. h. der „Strom geschlossen" wäre, heißt „elektromotorische Kraft" (142, 1). In welcher Richtung geht innerhalb der Flüssigkeit, in welcher außerhalb, im Schließungsbogen, die positive Elektrizität, um sich mit der negativen auszugleichen, d. h. in welchem Sinne „fließt" der (positive) Strom?

Wie unterscheiden sich die ausgeführten Versuche und die Entladung einer Leydener Flasche hinsichtlich der Größe der Potentialdifferenzen einerseits, der Elektrizitätsmengen andererseits? Man ver-

gleiche die Versuche ferner mit den über „Entladungsströme" angestellten (142). In welchem Falle ist bei geschlossenem Stromkreis der durch den Ausgleich der Potentialdifferenzen entstehende Strom von längerer Dauer?

151. Voltasche Säule. 1. Man stelle sich eine Voltasche Säule (Fig. 245) her, indem man abwechselnd Kupfer- und Zinkplatten durch Scheiben von Pappe oder Filz trennt, die mit verdünnter Schwefelsäure angefeuchtet sind. An die Endplatten, welche mit gefirnißten Holzplatten (*a*, *b*) bedeckt werden, löte man Kupferdrähte (*c*, *d*). Man führe zunächst den einen Draht an ein Elektroskop, berühre den anderen ableitend und beobachte den Ausschlag; man untersuche die dem Elektroskop zugeführte Elektrizität mittels eines geriebenen Glas- oder Hartgummistabes. Ebenso verfahre man mit dem zweiten

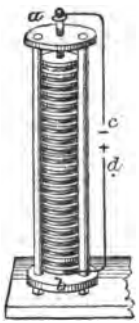


Fig. 245.

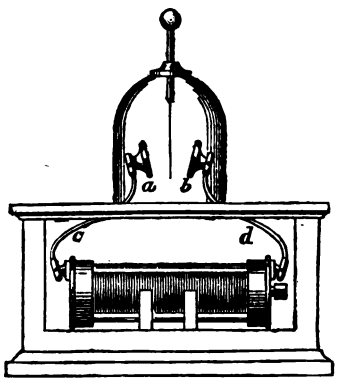


Fig. 246.

Draht. Dann verbinde man beide Drähte gleichzeitig mit den Kondensatorplatten eines Goldblattelektroskopes und beobachte nach Abheben der oberen Platte den Ausschlag. — Man wiederhole den letzten Versuch, indem man statt des einen Drahtes einen andern benutzt und mit seinem einen Ende die Kondensatorplatte, mit dem andern die Säule in verschiedenen Höhen berührt. Welchen Einfluß hat die Zahl der Elemente (149, s) auf den Ausschlag?

2. Man stelle sich eine „trockene Säule" her, indem man Blätter von Gold- und Silberpapier mit der Papierseite zusammenklebt, dann gleichgroße, kreisförmige Scheiben schneidet und diese so aufeinanderlegt, daß stets Gold- und Silberseite sich berühren. Als Schlußplatten nehme man zwei Metallplatten, an die Kupferdrähte gelötet sind. Im Bohnenbergerschen Säulenelektroskop (Fig. 246) sind die von den Enden der trockenen Säule kommenden Leitungsdrähte *c*, *d* umgebogen und enden in zwei kleine, einander gegenüberstehende Platten *a* und *b*. Über das Ganze ist ein Glaskasten gestellt, durch den eine Metallröhre geht, die oben in einen Knopf endet und unten einen Streifen Rauschgold oder Aluminiumfolie trägt, der gerade in der Mitte zwischen den Platten *a* und *b* hängt. Man nähere dem

Knopf einen geriebenen Glas- oder Hartgummistab und beobachte, von welcher der Platten der Streifen angezogen wird. — Man wiederhole mit diesem empfindlichen Elektroskop die Versuche (149, 1), indem man an Stelle der Kugel die gewünschte Metallplatte aufschraubt.

3. Man stelle sich eine Batterie von Elementen aus einer größeren Anzahl kleiner Flaschen oder Reagenzgläser her, die man

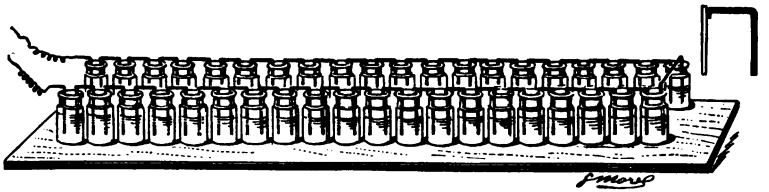


Fig. 247.

mit Wasser füllt, welches man mit Schwefelsäure schwach angesäuert hat. Man löte kleine Zinkstäbe an rechtwinklig gebogene Kupferstäbchen, so daß man ∩-förmige „Doppelelektroden" erhält, die man so über je zwei Flaschen stellt, daß jede Flasche eine Zink- und eine Kupferelektrode enthält (Fig. 247). An den ersten Zink- und den letzten Kupferstab löte man Kupferdrähte.

152. Galvanische Elemente. Das Daniell-Element. In ein Glasgefäß stelle man einen Tonzylinder, in diesen eine zylinder-

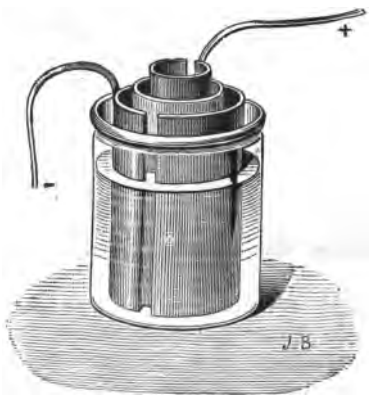


Fig. 248.

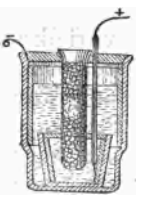


Fig. 249.

Fig. 250.

oder stabförmige Kupferelektrode und um den Tonzylinder die zylinderförmige Elektrode aus amalgamiertem, d. h. durch Waschen mit Quecksilber in Schwefelsäure metallisch blank gemachtem, reinem Zink (Fig. 248). Den Tonzylinder fülle man mit einer Kupfersulfatlösung, das Glasgefäß mit verdünnter Schwefelsäure; beiden Lösungen gebe man etwa das spezifische Gewicht 1,1. Den Tonzylinder stelle man einige Zeit vor Gebrauch des Elementes in angesäuertes Wasser,

damit die Luft aus den Poren herausgedrängt wird. Welche Elektrode ist der positive, welche der negative Pol?

Das Meidingersche Element. Die zylindrische Zinkelektrode (Fig. 249), an welche der Leitungsdraht gelötet ist, stelle man in ein mit einem Vorsprung versehenes Glasgefäß. Auf den Boden bringe man ein kleineres Glasgefäß, in welchen man die rundgebogene Kupferelektrode stellt; den an diese gelöteten Draht umhülle man mit Kautschuk. Durch eine Öffnung des Deckels des großen Gefäßes hänge man ein weites, unten mit einer Öffnung versehenes Glasrohr bis in das untenstehende kleine Gefäß hinab. Man fülle das kleine Gefäß mit einer konzentrierten Lösung von Kupfervitriol, das große Gefäß mit einer Lösung von Bittersalz; in das Glasrohr

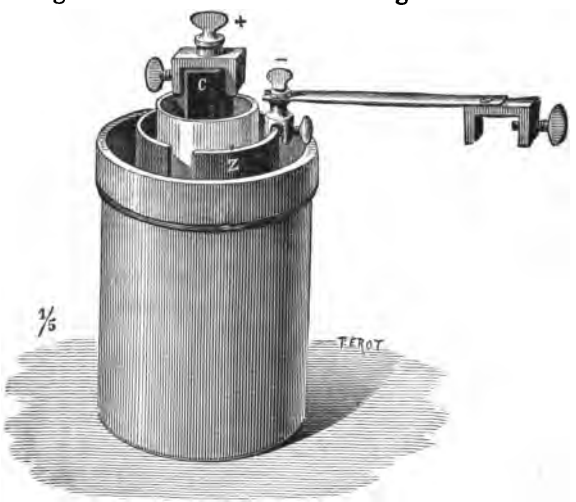


Fig. 251.

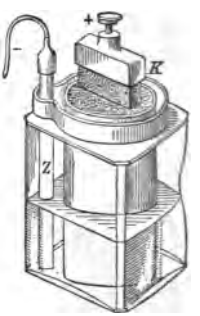


Fig. 252.

bringe man Kupfervitriolkristalle, welche die Lösung im kleinen Gefäß konzentriert erhalten.

Das Flaschenelement (Fig. 250) enthält zwei miteinander leitend verbundene Platten von Gaskohle (Retortenkohle), welche in eine Chromsäurelösung oder in ein Gemisch von Kalium- oder Natriumbichromat und Schwefelsäure tauchen; zwischen beiden befindet sich eine Zinkplatte, welche mittels eines durch den Deckel des Gefäßes gehenden Messingstabes herunter-, bezw. heraufgeschoben werden kann.

Man bestimme die Potentialdifferenz an den Polen mittels der in Nr. 149, 3 angegebenen Methode gleich nach Herstellung des Elementes und — indem der Strom geschlossen bleibt — etwa nach einer Viertelstunde und vergleiche die gefundenen Werte miteinander. Welchen Einfluß hat also die längere Benutzung des Elementes auf die Stärke der elektromotorischen Kraft und damit auch auf die

Stromstärke? — Man wiederhole diese Versuche auch mit einem Daniell-Element. Welche Bedeutung hat demnach die Unterscheidung in konstante und inkonstante Elemente?

Das Bunsen-Element. Dies Element ist in der Form ähnlich wie das Daniell-Element gebaut. In den Tonzylinder, welchen man mit konzentrierter Salpetersäure füllt, stelle man als Elektrode einen Kohlestab *C* (Fig. 251); die Zinkelektrode (*Z*) steht in einer Zinksulfatlösung oder verdünnter Schwefelsäure.

Das Grove-Element enthält an Stelle der Kohle des Bunsen-Elementes Platinplatten.

Das Leclanché-Element. Im Tonzylinder befindet sich ein Kohlestab *K* (Fig. 252) mit einem aus Braunstein und Kohle gemischten Pulver umgeben; in das den Tonzylinder enthaltende Glasgefäß gieße man eine fast gesättigte Salmiaklösung, in welche man die Zinkelektrode (*Z*) stellt.

Um zu verhindern, daß sich Kristalle am oberen Glasrand ansetzen, überziehe man diesen mit einer warmen Mischung von gleichen Teilen Vaselin und Paraffin. Diese Elemente halten sich jahrelang; man muß nur von Zeit zu Zeit etwas Wasser nachgießen.

153. Normalelemente. Das Clark-Element (Fig. 253). Auf den Boden eines zylindrischen Glasgefäßes bringe man Quecksilber, dar-

Fig. 253.

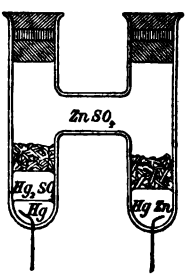


Fig. 254.

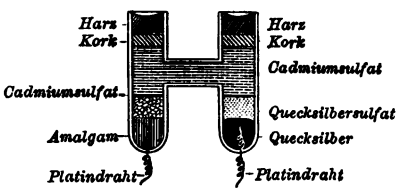


Fig. 255.

über Quecksilberoxydulsulfat, darüber Zinksulfatkristalle; auf diese gieße man eine konzentrierte Zinksulfatlösung. Als Zuführung zur positiven Elektrode benutze man einen durch ein Glasrohr geführten, bis in das Quecksilber tauchenden Platindraht, als negative Elektrode einen bis in die Zinksulfatkristalle reichenden Zinkstab. Das Glasgefäß

verschließe man durch einen gut passenden, beim Einsetzen mit flüssigem Harz oder Paraffin überzogenen Korkstopfen, den man nachher noch mit flüssigem Harz übergießt. — Man kann auch ein Glasgefäß in H-Form benutzen (Fig. 254), in dessen untere Arme man Platindrähte eingeschmolzen hat. An den Boden der einen Röhre bringe man Quecksilber, darüber das Quecksilberoxydulsulfat, an den Boden der andern Röhre 90prozentiges Zink-Quecksilberamalgam, das man heißflüssig einfüllt und dann erstarren läßt. Beide Röhren fülle man weiter mit Zinksulfatkristallen und Zinksulfatlösung; geschlossen werden die Röhren wie vorher.

Das Weston-Element. In ein H-förmiges Glasgefäß, durch dessen beide Böden die eingeschmolzenen Platindrähte gehen, bringe man über den als negativen Pol dienenden Draht zehnprozentiges Kadmiumamalgam, darüber eine Schicht von reinen und neutralen Kadmiumsulfatkristallen (Fig. 255). Über den andern Pol bringe man Quecksilber und hierüber die Paste von Quecksilberoxydulsulfat. Die Füllung beider Röhren ergänze man durch eine gesättigte Lösung von Kadmiumsulfat. Den Verschluß führe man wie bei den vorher angegebenen Elementen sorgfältig durch einen Kork und eine darüber befindliche Harz- oder Paraffinschicht aus.

Fig. 256.

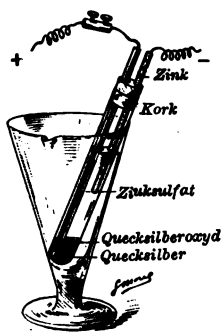


Fig. 257.

Gouy-Elemente. Sehr einfache Normalelemente lassen sich unter Benutzung der aus Fig. 256 und Fig. 257 ersichtlichen Anordnung herstellen. An den Boden einer Flasche oder eines Reagenzglases bringe man Quecksilber, darüber etwas gelbes Quecksilberoxyd, hierüber eine Lösung von reinem Zinksulfat (spez. Gew. 1,06). Als positive Elektrode nehme man einen Platindraht, den man durch eine Glasröhre führt, so daß nur sein unteres Ende in das Quecksilber taucht, als negative Elektrode einen Zinkstab, den man in eine unten verschlossene Glasröhre steckt, die an der Seite nur eine feine Öffnung besitzt, damit das Zink nur mit der Zinkvitriollösung in Berührung kommt und eine Amalgamierung vermieden wird.

Die von Clark, Weston und Gouy angegebenen Elemente bezeichnet man als Normalelemente, weil bei vorschriftsmäßiger Zusammensetzung ihre elektromotorische Kraft stets denselben Wert hat. Man benutze diese Elemente aber nicht zur Stromerzeugung, sondern nur zum Messen der elektromotorischen Kräfte anderer Elemente.

154. Elektrolyse. 1. Man biege zwei Glasröhren J-förmig um, schmelze in das kurze Ende einen Platindraht und bringe dann in

die Röhre so viel Quecksilber, daß das innen vorstehende Ende des Drahtes davon bedeckt wird. Durch das längere Ende der Röhre führe man einen bis in das Quecksilber reichenden Kupferdraht. Man stelle diese beiden Elektroden in ein Glas (Fig. 258 und 259), das man mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt hat, und stelle über die kurzen Schenkel zwei mit derselben Flüssigkeit gefüllte graduierte Reagenzgläser mit dem Boden nach oben.

Man fülle den Apparat mit 30prozentiger Schwefelsäure, verbinde die Elektroden mit den Polen einer galvanischen Batterie und beobachte die in beiden Reagenzgläsern eintretende Gasentwickelung. In welchem Volumenverhältnis füllen sich die Gläser mit den Gasen? Man nehme beide Reagenzgläser heraus, indem man sie noch innerhalb der Flüssigkeit mit Glasplatten verschließt, und

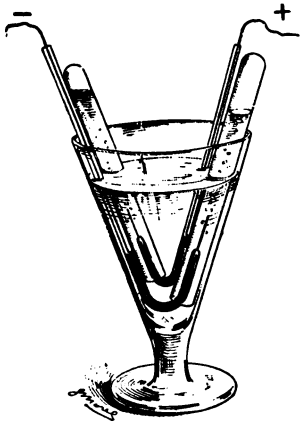


Fig. 258.

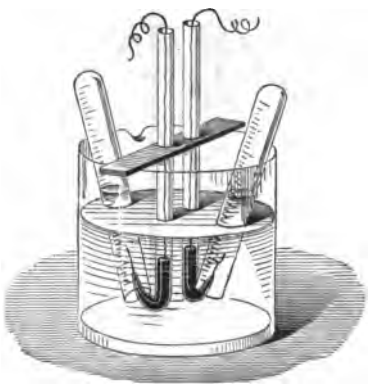


Fig. 259.

weise mittels eines glimmenden bezw. brennenden Streichholzes nach, daß sich Wasserstoff und Sauerstoff gebildet haben, in welche die Flüssigkeit „elektrolytisch" zerlegt worden ist. An welcher Elektrode hat sich der Wasserstoff, an welcher der Sauerstoff entwickelt?

Man bezeichnet die negative Elektrode als Kathode, die positive als Anode, die abgeschiedenen Bestandteile der Flüssigkeit, des „Elektrolyten", als Ionen, und zwar den zur Kathode gehenden Bestandteil als Kation, den zur Anode wandernden als Anion, die Bewegung dieser Bestandteile als die „Wanderung der Ionen".

2. Man fülle ein großes Glasgefäß mit einer Lösung von Kupfervitriol und stelle in die Flüssigkeit als Elektroden zwei Kupferplatten. Man schicke einen Strom durch den Elektrolyten.

Man nehme nach Beendigung des Versuches die Platten heraus und säubere sie. An welcher Elektrode hat sich Kupfer niedergeschlagen, an welcher wurde Kupfer aufgelöst? Man vergleiche diesen Versuch mit dem vorigen. Welches Gas hat sich dort an der Kathode entwickelt? Welcher Säurerest wird in beiden Versuchen

als Anion zur Anode gegangen sein, und welche Wirkung hatte er in diesen Versuchen auf das Kupfer, in den vorigen auf das Wasser? Man ersetze die positive Kupferelektrode durch eine Platinplatte und wiederhole den Versuch. Welches Gas entwickelt sich dann wieder an der Anode? — Man fülle das Gefäß mit einer Lösung von essigsaurem Blei und benutze als Elektroden Bleiplatten. Man schicke einen Strom durch die Flüssigkeit, bis sich an dem einen Pol (an welchem?) Bleikristalle in baumförmigen Wucherungen gebildet haben. Man kehre die Stromrichtung um. Welche Erscheinung beobachtet man?

155. Sekundäre Prozesse bei der Elektrolyse. 1. Man gieße in ein U-förmiges Glasrohr eine zehnprozentige Natriumsulfatlösung, die man mit Lackmustinktur färbt; als Elektroden nehme man Platin-

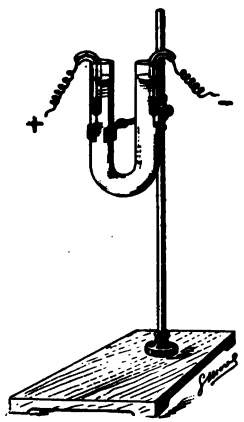


Fig. 260.

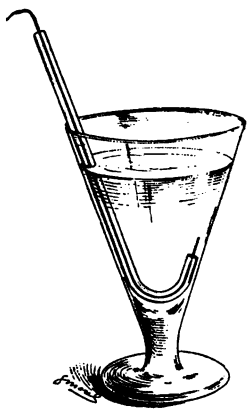


Fig. 261.

platten, die man mittels der an sie gelöteten Kupferdrähte in die Röhren hängt, oder Platindrähte, die man in das Ende von Glasröhren schmilzt, so daß das im Innern vorstehende Drahtstück mit Quecksilber bedeckt werden kann, in welches man Kupferdrähte einführt (Fig. 260). Man verbinde die Elektroden mit den Polen einer galvanischen Batterie, beobachte die an jeder Elektrode eintretende Färbung und bestimme wieder, welche Gase und in welchem Verhältnis sie sich an den beiden Elektroden entwickelt haben. Auf die Bildung welcher chemischen Verbindungen lassen die beiden Färbungen schließen? — 2. Man zersetze in ähnlicher Weise Soda und Pottasche. Hierzu bedarf es des eingeschmolzenen Platindrahtes nicht. Man macht an den J-förmigen Röhren die Biegung etwas flacher und zieht einen Eisendraht hindurch (Fig. 261). — 3. Um Kochsalz oder Salzsäure zu zersetzen, benutze man als positive Elektrode einen dünnen Kohlestab und sättige vorher die Lösung mit Chlorgas. — 4. Natrium-Amalgam. Man schließe den Trichter einer Trichterröhre mit einer Membran aus angefeuchtetem

Pergamentpapier, bringe etwas Quecksilber in den Trichter und führe durch die Röhre einen bis in das Quecksilber reichenden Eisendraht, den man mit dem negativen Pol des Stromkreises verbindet. Man stelle die Röhre mit nach unten gerichtetem Trichter in ein mit einer konzentrierten Kochsalzlösung gefülltes Gefäß (Fig. 262), stelle in diese Flüssigkeit als zweite Elektrode eine Bogenlampenkohle, um deren oberes Ende man den zum positiven Pol führenden Kupferdraht gewickelt hat. Das sich entwickelnde Natrium vereinigt sich mit dem Quecksilber zu einem Amalgam. Man weist dies nach, indem man das Amalgam in Wasser gießt, die Gasentwickelung beobachtet und mittels Lackmuspapier die Natronlauge nachweist. — 5. Ammonium-Amalgam. Bei der Bildung dieses Amalgames kann

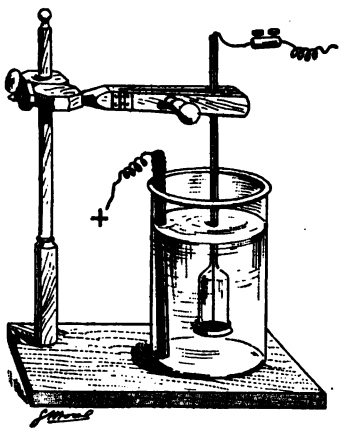


Fig. 262.

Fig. 263.

man das Pergamentpapier ersparen. Man gieße auf den Boden eines Becherglases etwas Quecksilber und tauche in dieses die durch eine Glasröhre geführte Elektrode aus Eisen, die mit dem negativen Pol verbunden ist (Fig. 263); die positive Elektrode ist wieder ein Kohlestab. Nachdem ein hinreichend starker Strom einige Augenblicke durch das Ammoniak hindurchgegangen ist, bläht sich das Quecksilber stark auf und wird teigig.

156. Polsucher. Man befeuchte ein Stück Fließpapier mit einer Lösung von Natriumsulfat, der man Phenolphtaleïn hinzugefügt hat. Berührt man mit diesem Papier den negativen Pol, so entsteht ein purpurroter Fleck. — Derartig zubereitete Papiere sind käuflich zu haben unter dem Namen „Polreagenzpapier".

Mit Wasser befeuchtetes Lackmuspapier färbt sich am positiven Pol rot, am negativen blau (155,1).

Mit Kaliumferrocyanür getränktes Papier färbt sich an einer positiven Elektrode aus Eisen blau. Wenn man den einen aus Eisen bestehenden Pol eines Wechselstromes auf dem Papier entlangführt,

so entstehen Farbenwechsel, die die Wechselzahl zu bestimmen gestatten.

Man halte die Leitungsdrähte einer Batterie auf befeuchtetes Jodkaliumstärkepapier (145). An welchem Pol wird das Jod abgeschieden und färbt den Kleister blau?

157. Galvanoplastik. Man stelle von einer Münze oder Medaille einen Abdruck her, indem man sie einölt und dann mit weichem Modelliergips überzieht; diesen Abdruck tauche man nach eingetretener Erhärtung einen Augenblick in geschmolzenes Wachs oder Stearin. Man kann auch einen guten Abdruck aus Guttapercha anfertigen, indem man dieses in heißem Wasser aufweicht und dann innerhalb desselben auf den Gegenstand aufdrückt. Den Abdruck mache man gut leitend, indem man ihn mittels eines weichen Pinsels mit feinem Graphitpulver überzieht; die Stellen des Abdruckes, welche nicht abgebildet werden sollen, bedecke man mit Wachs. Man hänge die Abdrücke mittels Kupferdrähte, welche, soweit sie in die Flüssigkeit tauchen, gefirnißt oder mit Wachs überzogen sind, an einen über ein Glasgefäß gelegten Kupferstab; das Gefäß fülle man mit einer konzentrierten Kupfervitriollösung. Über das Gefäß lege man einen zweiten Kupferstab, an welchem eine in die Flüssigkeit tauchende Kupferplatte befestigt ist. Man verbinde die beiden Stäbe mit den Polen einer schwach, aber lange Zeit konstant wirkenden Batterie. Man lasse den schwachen Strom zwei bis drei Tage wirken und löse dann die Kupferschicht vom Abdruck ab. — Man kann *die* galvanoplastischen Abdrücke auch ohne Benutzung einer besonderen Stromquelle herstellen. In ein weites Glasgefäß, das mit der konzentrierten Kupfervitriollösung gefüllt ist und in welches man, um eine Verdünnung der Flüssigkeit zu verhindern, noch eine Schicht von Kupfervitriolkristallen gebracht hat, stelle man ein kleineres, unten mit einer Tierblase verschlossenes Glasgefäß, das mit fünfprozentiger Schwefelsäure gefüllt ist. Einen mehrfach gebogenen Kupferstreifen, an dessen einem Ende eine kleine Zinkplatte gelötet ist, hänge man so über den Rand des inneren Gefäßes, daß die Zinkplatte sich in der Schwefelsäure und der Abdruck, welcher einfach auf das rechtwinklig umgebogene andere Ende des Kupferstreifens gelegt wird, sich unterhalb der Tierblase befinden.

Welche Stromstärke für die galvanische Verkupferung die geeignetste ist, bestimme man durch Vorversuche, indem man an Stelle des Abdruckes eine Metallplatte von derselben Oberfläche benutzt. Man kann die Niederschläge verbessern, wenn man die Gegenstände von Zeit zu Zeit herausnimmt und mit einer Metallbürste unter Wasser vorsichtig bürstet.

In ähnlicher Weise wie in den vorigen Versuchen läßt sich auch die galvanische Versilberung, Vergoldung oder Vernickelung ausführen. Aus welchem Metall muß die Anode bestehen?

Versilberung. Das Bad enthalte:

Wasser	1000 g
Cyankalium-Cyansilber	100 „
Cyankalium	20 „

Dieses Bad kann ohne Elektrolyse ziemlich gute Silberniederschläge auf Kupfer und Messing geben, namentlich, wenn man einen großen Überschuß von Kaliumcyanid hinzufügt und das Bad bei Siedetemperatur benutzt.

Gute elektrolytische Niederschläge erhält man auch mit einer 10prozentigen Lösung von reinem Silbernitrat, das genau neutralisiert ist.

Verkupferung im sauren Bad. Dies Verfahren dient dazu, einen galvanoplastischen Niederschlag auf Kupfer oder Graphit zu erhalten. Das Bad hat folgende Zusammensetzung:

Wasser	1000 g
Kristallisiertes Kupfersulfat	400 „
Schwefelsäure	20 „

Sobald man den metallischen Niederschlag erhalten hat, wäscht man ihn mit Wasser, das eine Spur von Schwefelsäure enthält, dann spült man mit destilliertem Wasser ab, das man mit Löschpapier abwischt, und vollendet das Trocknen unter leichter Erwärmung; diese Vorsichtsmaßregeln sind nötig, um die Oxydation des Metalles zu vermeiden.

Verkupferung im alkalischen Bad. Dies Verfahren wird benutzt, um Kupferniederschläge auf Eisen, Zink, Blei und mit Zinn gelöteten Messinggegenständen zu erhalten; es wird auch oft benutzt, um zu verkupfern, ehe man vergoldet, versilbert oder vernickelt.

Zum Bade benutzt man

Wasser	150 g
(Im Handel käufliches) Cyankalium	50 „
Neutrales Natriumsulfat	30 „

Außerdem löst man 35 g Kupferacetat in 1000 g Wasser und fügt 20 ccm Ammoniak hinzu. Dann mischt man diese Lösung mit der vorigen. Man führt die Elektrolyse bei etwa 50° C. aus.

Vergoldung. Silber und Kupfer können direkt vergoldet werden. Andere Gegenstände verkupfert man gewöhnlich erst, ehe man sie vergoldet.

Um das Goldbad herzustellen, nimmt man eine 15prozentige Lösung von reinem Cyankalium. In diese taucht man zwei Elektrodenplatten aus reinem Golde, von denen die Anode viermal so groß ist wie die Kathode. Die Anode umwickelt man mit Filtrierpapier. Dann schicke man einen schwachen Strom hindurch. Während dieser Elektrolyse löst sich allmählich Gold auf. Daß die Konzentration genügend stark ist, erkennt man daran, daß eine als

Kathode genommene Platinplatte sich mit einem Goldniederschlag bedeckt.

Die galvanische Vergoldung ist ein besserer und, wenn man einmal Bad und Anode hat, billigerer Schutz für Metalle als Schellack.

Vernickelung. Man stelle zwei Lösungen her:

einerseits:	Wasser	2000 g
	Ammoniumtartrat .	150 „
	Tannin (Gerbsäure)	1 „
andererseits:	Wasser	2000 „
	Reines Nickelsulfat	200 „

Die zweite Lösung neutralisiert man genau mit Ammoniak; dann mischt man beide Lösungen und filtriert etwa bei 40° C. Im allgemeinen müssen die zu vernickelnden Gegenstände vorher verkupfert werden.

158. Voltameter. Die für die genaue Messung der durch Elektrolyse abgeschiedenen Stoffe besonders sorgfältig konstruierten Zersetzungsapparate nennt man Voltameter.

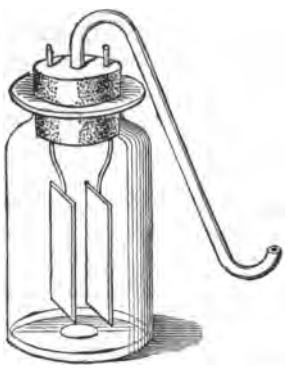


Fig. 264.

1. Das Knallgasvoltameter. In ein größeres Glasgefäß, in das für die Versuche durch Schwefelsäure angesäuertes Wasser gefüllt wird, hänge man als Elektroden zwei Platinplatten, an deren Enden Kupferdrähte angelötet sind (Fig. 264). Diese durch einen Überzug von Gummi gut isolierten Drähte führe man durch einen das Gefäß luftdicht abschließenden Korkstopfen, durch den außerdem eine zweimal gebogene Glasröhre geht, um das sich entwickelnde Knallgas in einer graduierten Glasröhre mittels einer pneumatischen Wanne über Wasser auffangen zu können.

2. Das Kupfervoltameter. Man stelle in ein Glasgefäß als Elektroden zwei Kupferplatten, indem man durch ihre Enden zwei Glasröhren führt und diese über den Rand des Gefäßes legt (Fig. 265); als Elektrolyten verwende man eine konzentrierte Kupfervitriollösung. Um das Gewicht der abgeschiedenen bzw. aufgelösten Menge Kupfer genau feststellen zu können, nehme man nach Beendigung des Versuches die beiden Platten heraus, spüle sie sauber ab, trockne sie zunächst zwischen Fließpapier, dann über einem durch eine untergestellte Gasflamme erhitzten Eisenblech.

3. Das Silbervoltameter. Als Kathode benutzt man am besten einen Platintiegel, in welchen man die Lösung von salpetersaurem Silber (1 Gewichtsteil auf 3 bis 6 Gewichtsteile Wasser)

gießt (Fig. 266). Als Anode nehme man einen Silberstab, den man innerhalb der Lösung mit einem kleinen Netz aus einem feinen

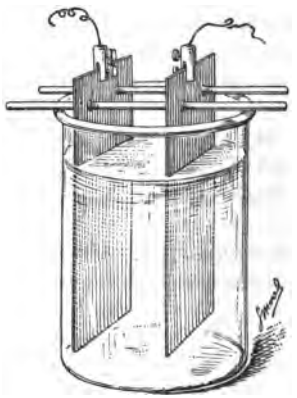


Fig. 265.

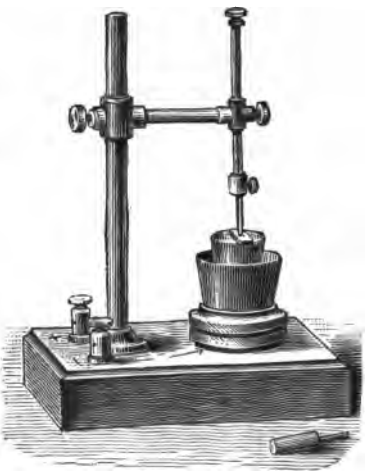


Fig. 266.

Gewebe umgibt, damit nicht Metallstückchen von der Anode direkt in den Platintiegel fallen.

159. Elektrolytische Gesetze. 1. Man schalte in denselben Stromkreis zwei oder mehrere Wasserzersetzungsapparate (vergl. Fig. 258, 259 und 264) hintereinander und vergleiche die in den verschiedenen Apparaten entwickelten Gasmengen miteinander. Welche Abhängigkeit besteht demnach zwischen der in einem Voltameter entwickelten Gasmenge und der hindurchgegangenen Elektrizitätsmenge? — 2. Man schicke einen Strom durch einen Wasserzersetzungsapparat und messe die für verschiedene Zeiten entwickelten Gasmengen. In welcher Beziehung steht die Gasmenge und demnach auch die Elektrizitätsmenge zu der Zeit. Die in der Zeiteinheit hindurch gegangene Elektrizitätsmenge nennt man die Stromstärke (142, 2). — 3. Man schalte drei Zersetzungsapparate so, daß der Strom von mindestens drei Daniells oder zwei Akkumulatoren zuerst durch den einen geht, sich dann über die beiden andern verzweigt und nachher wieder vereinigt (Fig. 267). Man vergleiche die Summe der in irgendeiner Zeit in M_1 und M_2 entwickelten Gasmengen mit der in M. Dann schalte man zuerst ein, nachher zwei Elemente mehr in den Kreis, vergleiche wie vorher und außerdem die Verhältnisse der in jedem der drei Apparate während derselben Zeit in den drei Versuchen

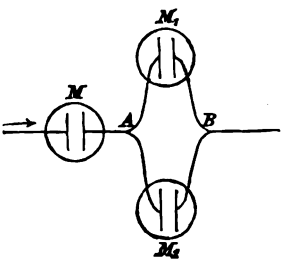


Fig. 267.

entwickelten Gasmengen miteinander. In welcher Beziehung steht hiernach die von einem Strom in irgendeiner Zeit entwickelte Gasmenge zu der Stärke des Stromes? — 4. Man schalte in denselben Stromkreis hintereinander die oben beschriebenen drei Voltameter und vergleiche die in derselben Zeit ausgeschiedenen Gewichtsmengen Knallgas, Kupfer und Silber mit den chemischen Äquivalenten (Verbindungsgewichten). Das Gewicht von Kupfer bzw. Silber bestimme man, indem man das Mittel der Gewichtszu- und -abnahme an der positiven und negativen Elektrode nimmt.

Durch internationales Übereinkommen hat man die Stromstärke, welche in einer Sekunde 1,118 mg Silber oder das äquivalente Gewicht eines anderen Ions abscheidet, als Einheit der Stromstärke, 1 Ampere, bezeichnet.

160. Unterbrecher. Umschalter. Stromwender. 1. Als Stromunterbrecher kann man sich des bei Klingelleitungen gebräuchlichen Druckknopfes bedienen.

2. Einen anderen einfachen Stromunterbrecher stelle man sich her, indem man auf einem Brett mittels messingener Schrauben ein

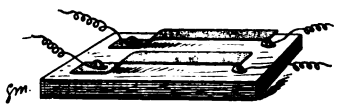


Fig. 268.

Ende eines federnden Messingstreifens befestigt und auch unterhalb des freien Endes desselben eine Schraube anbringt, so daß man durch

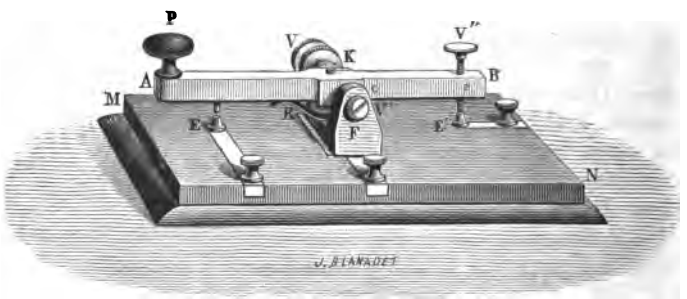


Fig. 269.

Niederdrücken des Streifens den Strom schließen kann, wenn die Zuleitungsdrähte an den beiden Schrauben befestigt sind. Man schalte zwei Voltameter unter Benutzung zwei solcher Unterbrecher (Fig. 268) so in denselben Stromkreis, daß diese als Umschalter dienen, d. h. der Strom nur durch das eine oder das andere Voltameter geht, je nachdem man den einen oder den andern Messingstreifen niedergedrückt hat.

3. Als Unterbrecher und Umschalter kann auch der bei der Telegraphie benutzte Taster dienen, ein messingener Hebel *AB* (Fig. 269), welcher sich um eine durch seine Mitte gehende wagerechte Achse *VV'* drehen kann; diese Achse ist in den auf dem Brett *MN* befestigten Messinglagern *K* und *F* angebracht. Eine unterhalb der Achse befindliche Feder *R* drückt das eine (vordere) Ende des Hebels hoch, so daß das andere Ende mittels einer Metallwarze *E'* mit einer auf dem Brett angebrachten Klemmschraube in leitender Verbindung steht. Drückt man das vordere Hebelende durch den Knopf *P* herunter, so steht der Hebel durch die Metallwarze *E* mit einer zweiten Klemmschraube in Verbindung. Eine dritte Klemmschraube ist metallisch mit der Achse verbunden. Eine am hinteren Ende des Hebels befindliche Schraube *V''* gestattet eine feinere Einstellung.

4. Kommutatoren. An den Ecken eines Brettchens befestige man je eine Klemmschraube (Fig. 270). Mehr der Mitte zu bohre

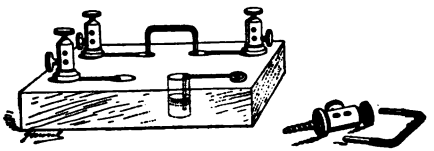


Fig. 270.

man in quadratischer Anordnung vier etwa 8 mm weite und 2 cm tiefe Löcher; diese fülle man zur Hälfte mit Quecksilber. Die Verbindung des Quecksilbers mit der benachbarten Klemmschraube stelle man durch Kupferdrähte her, die an einem Ende rechtwinklig gebogen sind, um in das Quecksilber tauchen zu können, am andern Ende so, daß sie um den Fuß der Klemmschraube gehen und diese fest auf den Draht geschraubt werden können. Die Verbindung je zweier Quecksilbernäpfe stelle man durch an den Enden rechtwinklig gebogene Kupferbügel (Brücken) her, die mit Ausnahme der Enden mit Paraffin oder einem anderen Isolierungsmittel überzogen sind. Zwei dieser Bügel haben die Länge einer Seite, zwei andere, von verschiedener Höhe, die einer Diagonale. Wie ist dieser Apparat an Stelle des zuerst beschriebenen als Umschalter zu verwenden? Man benutze den Apparat als Stromwender (Kommutator), indem man ihn und einen Wasserzersetzungsapparat derart in den Kreis einer Stromquelle schaltet, daß je nach Benutzung der Brücken der Strom den Wasserzersetzungsapparat in der einen oder der anderen Richtung durchfließt.

5. Auf einem Brett befestige man sechs kleine mit Quecksilber gefüllte Porzellantöpfchen (Fig. 271); die äußersten verbinde man in Diagonalrichtung durch Kupferdrähte, welche gegeneinander isoliert sind. Zu ihrer Verbindung mit den mittleren benutze man eine umlegbare Brücke, ein schmales Holzbrettchen, das an jedem Ende drei-

aus demselben Drahtstück gebogene Füße besitzt, von denen die mittelsten beständig in die mittelsten Quecksilbernäpfe tauchen, die beiden anderen Paare durch Umlegen der Brücke in das eine oder das andere Paar der äußeren Quecksilbernäpfe eintauchen können; man kann auch zwei dreiarmige Metallbügel zu einer Wippe vereinigen (Fig. 272). Die mittleren Näpfe kann man entbehren, wenn man eine Wippe benutzt, die, um zwei beliebige Stützen drehbar, oben an den Enden je eine Klemmschraube besitzt, die die beiden aus einem Drahtstück gebogenen Füße faßt. Man wiederhole unter Einschaltung des Strom-

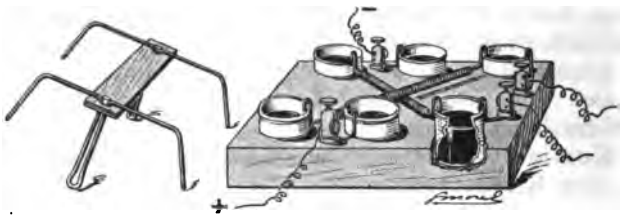


Fig. 271.

wenders den in Nr. 155, 1 angestellten Versuch für verschiedene Stromrichtungen und beobachte die dadurch entstehenden Farbenänderungen.

6. Der Stromwender von **Rühmkorff** (Fig. 273), der auch vielfach bei den nach **Rühmkorff** benannten Induktionsapparaten

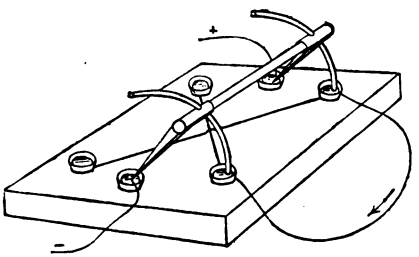


Fig. 272.

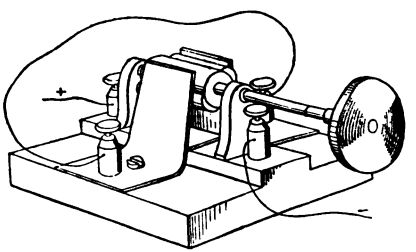


Fig. 273.

(vergl. z. B. Fig. 418) verwendet wird, besitzt eine Walze aus Elfenbein oder Hartgummi, welche mit zwei diametral gegenüberliegenden Metallwulsten versehen ist und von zwei metallenen Zapfen getragen wird, deren jeder im Innern der Walze mit einem der Wulste leitend verbunden ist. Die beiden Zapfen stehen durch ihre messingenen Lager mit den Klemmschrauben in Verbindung, zu denen die Drähte der Batterie geführt werden. Gegen die Walze federn zwei Messingstreifen, auf welchen die beiden Klemmschrauben befestigt sind, mit denen die Leitungsdrähte des in den Stromkreis eingeschalteten Apparates verbunden werden. Die Änderung der Stromrichtung wird bewirkt, indem die die Streifen berührenden Wulste durch eine Drehung der Walze um 180^0 ihre Lage ändern; berühren die Wülste die Streifen gar nicht, so ist der Strom unterbrochen. — Man lasse unter Benutzung dieses Stromwenders einen Strom durch das Kupfer-

voltameter (158) in jeder der beiden Richtungen während einer gewissen, in beiden Fällen gleichen Zeit gehen, wäge dann die Kupferplatten und vergleiche die Gewichte mit den vor Beginn des Versuches festgestellten.

161. Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom. Man halte ein längeres, geradliniges Stück des Drahtes, durch den der Strom eines Elementes geht, parallel oder senkrecht zu einer Magnetnadel, indem man die Lage des Drahtes zur Nadel links oder rechts, oben oder unten, vorne oder hinten und ferner die Stromrichtung mit Hilfe des Kommutators ändert, und beobachte jedesmal die Ablenkung der Magnetnadel. Man hebe die Wirkung des Erdmagnetismus auf die Nadel auf, indem man dieser einen Magnet nähert (80, 4). Wie stellt sich die Nadel zu einem über oder unter ihr horizontal gerichteten, vom Strome durchflossenen Draht? Wie sind demnach die vom Strom auf die beiden Pole der Nadel ausgeübten Kräfte zu der durch den Strom und den Drehpunkt der Nadel gelegten Ebene gerichtet? Man denke sich bei jedem Versuche in dem durch den Draht fließenden (positiven) Strom so schwimmend, daß das Gesicht immer der Nadel zugekehrt ist. Welcher Arm gibt dann die Richtung an, nach welcher der Nordpol der Nadel ausschlägt (Ampères Schwimmerregel)? Man halte die rechte Hand mit der inneren Fläche so der Magnetnadel zugekehrt, daß die Fingerspitzen die Richtung des (positiven) Stromes angeben, dann zeigt der ausgestreckte Daumen die Richtung an, in welcher der Nordpol abgelenkt wird. Wie kann man umgekehrt diese Regeln anwenden, um aus der Ablenkung der Magnetnadel die Richtung des elektrischen Stromes im Leiter zu bestimmen?

Man biege den Leitungsdraht zu einem Rechteck, halte dieses in die durch die Magnetnadel gegebene vertikale Ebene, so daß die Nadel innerhalb des Rechteckes steht, und untersuche die Wirkung jedes einzelnen Stromstückes auf die Magnetnadel. Dann stelle man sich vor das Rechteck und zwar auf die Seite, nach welcher der Südpol abgelenkt wird. Wird die Nadel vom Strom im Sinne des Uhrzeigers oder im entgegengesetzten Sinne um-

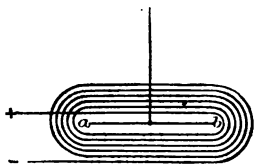


Fig. 274.

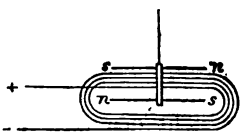


Fig. 275.

flossen? — Man benutze diese Methode, um für verschiedene galvanische Elemente die Richtung des (positiven) Stromes und damit die Pole der Elemente selbst zu bestimmen.

Man führe den Draht in zahlreichen Windungen um die Nadel herum (Fig. 274) und beobachte die dadurch verstärkte Wirkung auf

die Magnetnadel (Multiplikator). Man wiederhole diesen Versuch mit einem astatischen Nadelpaar (69, 4), zwei durch ein Stäbchen fest miteinander verbundenen und mit den gleichnamigen Polen nach entgegengesetzten Seiten gerichteten Magnetnadeln *ns* (Fig. 275); die Drähte sind so um die Nadeln geführt, daß die eine innerhalb, die andere außerhalb des Rahmens steht. In welchem Sinne suchen die zwischen beiden Nadeln fließenden Ströme jede der Nadeln zu drehen? Welchen Einfluß hat also diese Lage der Drähte auf die Empfindlichkeit des Nadelpaares? Man schicke durch diesen Multiplikator einen schwachen Strom und vergleiche die Empfindlichkeit mit der im vorigen Versuch beobachteten.

162. Tangentenbussole. Die Fig. 276 zeigt eine Tangentenbussole, bei welcher der Strom durch eine größere Zahl vertikal gestellter, kreisförmiger Drahtwindungen geschickt werden kann. Im Zentrum des Ringes befindet sich eine kurze Magnetnadel mit einem langen Zeiger. Man verfertige sich eine solche Bussole, indem man um einen Holzreifen vier bis fünf Windungen eines 1 mm dicken Kupferdrahtes legt, den Reifen vertikal auf einem Brett befestigt und mittels eines andern vertikal gestellten Brettchens einen Kompaß in die Mitte des Reifens bringt.

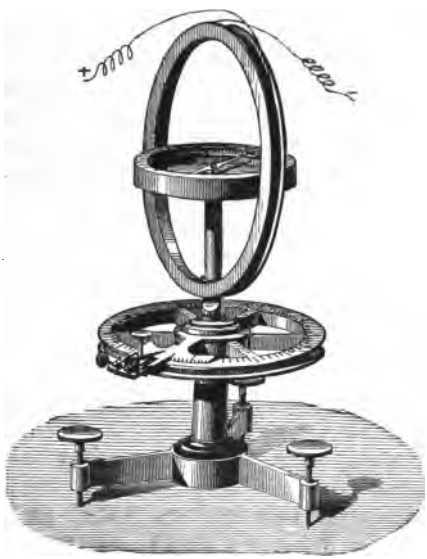


Fig. 276.

Man schalte die Bussole und ein Voltameter nebst einem Unterbrecher in den Stromkreis einer kleinen Batterie (Fig. 277), stelle den Ring in den magnetischen Meridian und messe den Ausschlag der Magnetnadel und die in irgendeiner Zeit entwickelte Knallgasmenge. Dann wiederhole man den Versuch für Ströme von verschiedener Stärke (159), bestimme jedesmal die in derselben Zeit entwickelten Knallgasmengen und die Ausschläge der Nadel. In welcher Beziehung steht demnach die Stromstärke zur Tangente des Ausschlagswinkels? Wie lautet die Formel für diese Beziehung, wenn mit i die Stromstärke, mit α der Ausschlagswinkel und mit k eine Konstante bezeichnet wird?

Um die gefundene Konstante, den Proportionalitätsfaktor der Bussole bestimmen, d. h. diese eichen zu können, wiederhole man einen der eben angestellten Versuche, berechne die in einer Sekunde entwickelte Knallgasmenge und daraus die Stromstärke.

Aus dieser und dem Nadelausschlag bestimme man mit Hilfe der vorher gefundenen Beziehungsgleichung den Proportionalitätsfaktor.

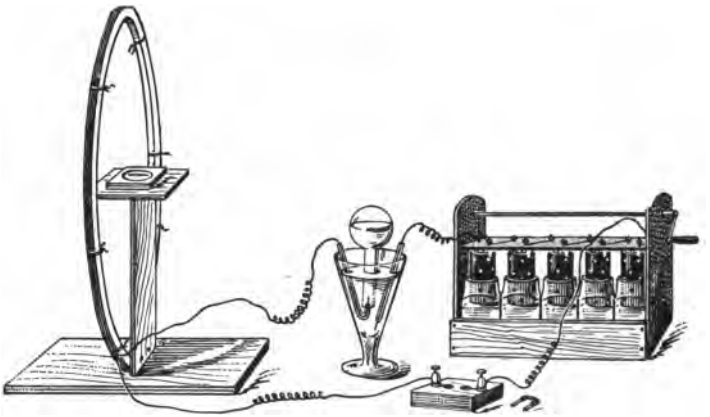


Fig. 277.

— Man wiederhole die Eichung mit Hilfe des Kupfervoltameters.

163. Galvanoskop. Galvanometer. Als Galvanoskop kann man jede Magnetnadel benutzen, um welche ein Kupferdraht oder -streifen herumgeführt ist, so daß durch diese Leitung ein Strom geschickt und aus der Ablenkung der Nadel auf das Vorhandensein und die Richtung (161) des Stromes geschlossen werden kann. Als Galvanometer bezeichnet man die Instrumente dieser Art, welche zu Messungen benutzt werden können. Gestattet die Teilung die Stromstärke in Ampères (159) abzulesen, so nennt man die Instrumente Ampèremeter.

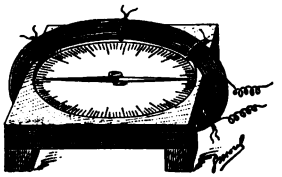


Fig. 278.

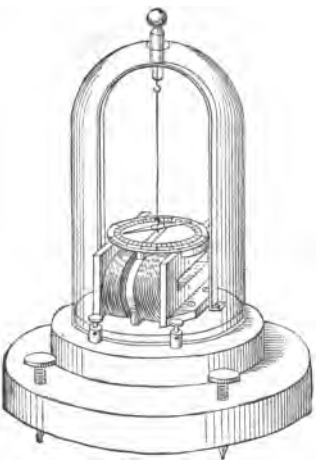


Fig. 279.

1. Man lege um einen Kompaß etwa 150 Windungen eines etwa 0,7 mm dicken, durch Umspinnung mit Seide isolierten Kupferdrahtes (Fig. 278). Dieses Galvanoskop zeigt noch einen Strom von 0,0001 Ampère an. Man kann die Empfindlichkeit noch erhöhen, wenn man einen Magnet vor einen Pol der Nadel hält, so daß die Wirkung des Erdmagnetismus geschwächt wird. Der Einfluß des

Magnetes darf aber nicht so groß sein, daß die Nadel, wenn der Strom unterbrochen wird, nicht in den magnetischen Meridian zurückzukehren vermag.

2. Man stelle sich ein Galvanoskop nach der aus Fig. 279 ersichtlichen Anordnung her, bei welcher die eine Nadel eines astatischen Nadelpaares innerhalb, die andere außerhalb des Drahtrahmens schwebt und die letztere über einer auf einem Kreise angebrachten Skala spielt; zur Aufhängung des Nadelpaares benutze man einen Kokonfaden. Um Luftströmungen zu vermeiden, stelle man eine Glasglocke über das Galvanoskop.

Man vergleiche beide Apparate mit einer Tangentenbussole hinsichtlich der Entfernung der Drahtwindungen von der Magnetnadel und der Zahl der Windungen (161). Welcher Einfluß auf die

Fig. 280.

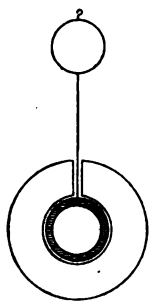


Fig. 281.

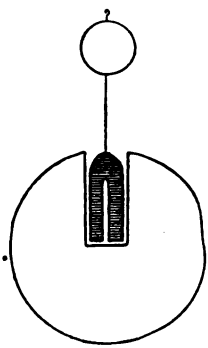


Fig. 282.

Empfindlichkeit wird dadurch erzielt? Man wiederhole einen der in Nr. 144 angestellten Versuche, indem man eines der Galvanoskope in den Stromkreis einschaltet.

3. Man bringe vor beide Seiten eines Magnetometers (73, 2) vertikal und parallel zu dem in Ruhe befindlichen Spiegel je einen Ring von Kupferdrahtwindungen (Fig. 280). Bei Benutzung dieses Galvanometers bestimme man die Ablenkung der Magnete mittels Fernrohr und Skala (Spiegelgalvanometer) (36).

Nachdem man die Ruhelage eines Spiegelgalvanometers bestimmt hat, lasse man durch dasselbe auf einen kurzen Augenblick einen elektrischen Strom fließen und beobachte, nachdem der Strom wieder geöffnet ist, die Entfernungen der Umkehrpunkte des Lichtzeigers von der Ruhelage. Bilden diese eine geometrische oder arithmetische Reihe (I, 80)? Das Verhältnis zweier aufeinanderfolgenden Ausschläge, Schwingungsweiten, Amplituden, nennt man das Dämpfungsverhältnis.

Um die Dämpfung zu verstärken, so daß der Magnet gar keine periodischen Schwingungen macht, sondern sich, ohne zu schwingen, in seine Gleichgewichtslage einstellt (aperiodisches Galvanometer), hat der Magnet bei einigen Galvanometern die Gestalt eines leichten Stahlringes (Fig. 281), der innerhalb eines dicken Kupferzylinders, oder die Gestalt eines Glockenmagnetes (Fig. 282), der innerhalb einer Kupferkugel schwebt. Man kann auch bei diesen, wie bei den zuerst beschriebenen Galvanometern die Empfindlichkeit noch durch Benutzung eines Astasierungsmagnetes erhöhen, so daß noch ein Strom von einigen Tausendmilliontel Ampère angezeigt wird.

Ist selbst noch für die empfindlichsten ungedämpften (ballistischen) Galvanometer der nachzuweisende Strom zu schwach, um eine deutliche Ablenkung hervorzurufen, so kehre man im Augenblick der Umkehr der Nadel auch die Stromrichtung plötzlich um, im Augenblick der zweiten Umkehr wieder usf., so daß die Nadel stets im Sinne der von ihr bereits ausgeführten Bewegung einen neuen Anstoß erhält.

Will man mit einem Galvanometer nicht dauernde Ströme, z. B. die Entladung einer Leydener Flasche, vergleichen oder messen, so benutze man, da ein solcher momentaner Strom der Nadel nur einen Stoß erteilt, um den ersten Ausschlag deutlich beobachten zu können, ein Galvanometer mit geringer Dämpfung; die meisten Spiegelgalvanometer sind deshalb so eingerichtet, daß man den Kupferdämpfer herausnehmen kann.

164. Galvanometer mit beweglichem Rahmen. Man lege um ein rechteckiges Brettchen von etwa 7 cm Länge, 4 cm Breite und 1 cm Dicke längs der schmalen Ränder ungefähr hundert Windungen eines mit Seide umsponnenen Kupferdrahtes von 0,25 mm Dicke, knüpfe die vier längs jedes Randes liegenden Drahtgruppen an mehreren Stellen durch Fäden fest zusammen und entferne dann das Brettchen, indem man es entzwei schneidet. Die freien Enden des Drahtes löte man an die zwei vorstehenden kleinen Metallplatten, die man an die Enden eines etwa 75 cm langen Holzstabes genagelt hat, so daß der Rahmen in der Mitte des Stabes vertikal schwebt und um die durch seine Drahtenden angegebene Richtung als Achse drehbar ist (Fig. 283). Den Stab befestige man in seiner Mitte im Schlitz eines Brettchens, auf welchem zwei Klemmschrauben befestigt sind, zu denen man zwei an die an je einem Ende des Stabes befindlichen Metallplatten angelöteten

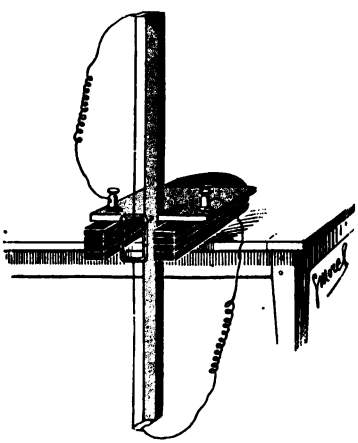


Fig. 283.

Kupferdrähte führt. Das Brett lege man auf einen wagerecht liegenden starken Hufeisenmagnet, so daß der Rahmen sich in dem homogenen Kraftfeld (76, 4) zwischen den Magnetpolen befindet.

Man verbinde die Klemmschrauben unter Einschaltung eines Stromwenders mit den Polen eines Elementes und beobachte den beweglichen Rahmen je nach der Richtung des durch ihn fließenden Stromes. Man vergleiche diese Versuche mit den in Nr. 161 ausgeführten.

Um diesen Apparat als Galvanometer verwerten zu können, bringe man am Rahmen einen kleinen Zeiger aus Stroh an; man

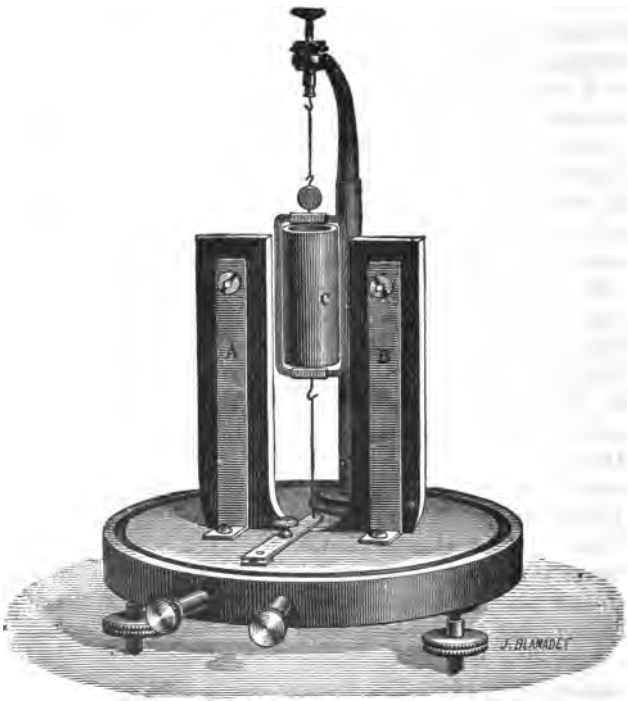


Fig. 284.

kann den Apparat aber auch zu einem Spiegelgalvanometer herrichten, indem man in dem Rahmen einen Spiegel befestigt. Man wiederhole die mit der Tangentenbussole angestellten Versuche, suche auch für dieses Galvanometer die Beziehung zwischen Stromstärke und Ablenkung und eiche den Apparat in der dort angegebenen Weise.

Ein zu feineren Messungen dienendes Galvanometer derselben Art zeigt Fig. 284. Dasselbe besitzt außer einem kräftigen Hufeisenmagnet (*A B*) noch eine am Stativ befestigte innerhalb des beweglichen Rahmens befindliche Röhre aus weichem Eisen (*C*), welche

das magnetische Feld, in welchem sich der Rahmen bewegt (77, 2), noch verstärkt.

165. Polarisationsstrom. Polarisierbare und unpolarisierbare Elektroden. 1. Man schalte eine Batterie, ein Knallgasvoltameter, ein Galvanoskop und zwei Unterbrecher nach der aus Fig. 285 ersichtlichen Anordnung; als einen der Unterbrecher kann man bequem einen Taster (160, 3) benutzen, um das Voltameter nach Unterbrechung des durch dieses fließenden Stromes sofort mit dem Galvanoskop in einen Kreis schalten zu können. Man schicke durch das Voltameter einen nicht zu schwachen Strom und beobachte den Vorgang an den Platinplatten. Dann unterbreche man mit Hilfe des Tasters den Strom, schalte das Voltameter und das Galvanoskop zu einem Kreise und beobachte dieses, sowie die Platinplatten. Man beachte die Dauer des jetzt durch das Galvanoskop angezeigten Stromes und des Vor-

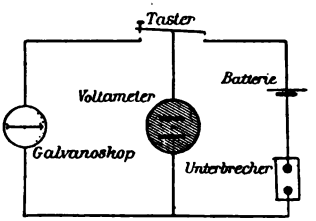


Fig. 285.

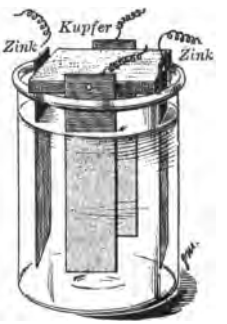


Fig. 286.

ganges an den Platinplatten. Man erinnere sich der die beobachtete chemische Wirkung des Stromes zeigenden Versuche (154). Welche Gase haben sich im ersten Teil des Versuches an den Platinplatten niedergeschlagen und verschwinden wieder im zweiten Teil? Woher rührt demnach die elektromotorische Kraft des im zweiten Teil des Versuches beobachteten Stromes? Die beiden mit verschiedenen Gasen bedeckten Platten vertreten also die Stelle der beiden verschiedenen Metalle eines galvanischen („sekundären") Elementes; man nennt die Platten „polarisiert". Man schalte die benutzten Apparate derart, daß man in beiden Versuchen die Richtung des Stromes feststellen kann. Welche Richtung hat der „Polarisationsstrom", verglichen mit derjenigen des ursprünglichen Stromes?

2. Man befestige zwei amalgamierte Zinkplatten und zwei Kupferplatten, welche man mit Schmirgelpapier gereinigt hat, an den vier Seiten eines kleinen Brettchens und stelle sämtliche Platten in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß, indem man das Brettchen über den Rand desselben legt (Fig. 286). Man verbinde einen Augenblick unter Einschaltung eines Galvanometers und eines auf einem Brett ausgespannten langen, dünnen Drahtes aus Manganin, dessen in den Stromkreis eingeschaltete Länge sich mittels ver-

schiebbarer Klemmschraube (Gleitkontakt) ändern läßt, die vier Platten zu je zweien miteinander und vergleiche die durch diese vier Elemente hervorgerufenen Ausschläge des Galvanometers. Dann lasse man eines der beiden Elemente, welche die größere elektromotorische Kraft zeigten, längere Zeit geschlossen. Wie verhält sich das Galvanometer, was geschieht also mit der elektromotorischen Kraft? Man öffne diesen Stromkreis und verbinde schnell die beiden Zink- und ebenso die beiden Kupferplatten miteinander, jedesmal unter Einschaltung des Galvanometers. In welchem Falle erhält man einen Ausschlag? Welche Platte ist demnach als der Sitz der elektromotorischen Kraft der Polarisation anzusehen? Man reinige die polarisierte Kupferplatte, stelle wieder die Verbindung mit der anderen Kupferplatte her und beobachte wieder das Galvanometer. Wie verhält es sich? Die polarisierte und die reine Kupferplatte bildeten also vorher mit der verdünnten Schwefelsäure ein sekundäres Element.

3. Man lasse bei der soeben benutzten Versuchsanordnung den Strom einer Batterie durch die Flüssigkeit gehen, indem man die beiden Kupferplatten als Elektroden benutzt. Man untersuche mit einer dritten Kupferplatte als Hilfselektrode, indem man sie erst mit der einen, dann mit der anderen Kupferelektrode unter Einschaltung des Galvanometers verbindet, ob und wo Polarisation eingetreten ist. Dann wiederhole man diese Versuche, indem man als Elektrolyten konzentriertes Kupfervitriol benutzt. In welchem Falle zeigt sich keine Polarisation, d. h. sind die Kupferelektroden *un*polarisierbar?

4. Man stelle die vorigen Versuche unter Benutzung der beiden Zinkelektroden an, indem man zuerst wieder die verdünnte Schwefelsäure, dann konzentriertes Zinksulfat als Elektrolyten verwendet und als Hilfselektrode einen Zinkstreifen benutzt. In welchem Falle zeigen sich wieder die Elektroden unpolarisierbar? Man vergleiche die elektromotorische Gegenkraft der polarisierbaren Zinkelektrode mit der der polarisierbaren Kupferelektrode im vorigen Versuch. Wo ist die Polarisation größer? Man vergleiche dieses Resultat mit dem im zweiten Versuch erhaltenen.

166. Zersetzung der verdünnten Schwefelsäure unter Benutzung von Aluminiumanoden. 1. Man stelle in eine Lösung von 5prozentigem Kaliumphosphat, dem man eine kleine Menge Kaliumkarbonat hinzugefügt hat, als Elektroden zwei Aluminiumplatten (Fig. 287), die man vorher möglichst lange in verdünnter Kaliumkarbonatlösung hat stehen lassen. Aus Eisenblech stelle man eine Hilfselektrode von derselben Größe her wie die Aluminiumplatten. Man lasse durch die Flüssigkeit unter Benutzung der Aluminiumelektroden einen starken Strom gehen und beobachte die Zeit und an einem in den Stromkreis eingeschalteten „Ampèremeter“ (163) die Stromstärke. Wie stark ist der Strom zu Beginn des Versuches, wie ändert sich die Stromstärke? Man unterbreche den Strom und bringe schnell

der Reihe nach jede Aluminiumelektrode einzeln mit der Eisenelektrode und dem Ampèremeter in einen Kreis. Welche der beiden Aluminiumelektroden kann demnach nur die Ursache der vorher beobachteten Verringerung der Stromstärke gewesen sein? Man weise dies auch dadurch nach, daß man den ersten Versuch in der Art wiederholt, daß man die Eisenelektrode einmal als positive, einmal als negative Elektrode benutzt. Man vergleiche die durch die starke Polarisation hervorgerufene Verringerung der Stromstärke im ersten mit der geringen Stärke des Polarisationsstromes im zweiten Versuch.

2. Verwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom. Man schalte den vorher benutzten Apparat unter Verwendung der Eisenelektrode als Kathode, einer Aluminiumelektrode als Anode nebst einem Galvanoskop und einem Kommutator in den Stromkreis eines durch einen kleinen Rühmkorffschen Induktionsapparat (239) oder eine Wechselstrommaschine (280) erzeugten Wechselstromes (229, s). Man lasse den Wechselstrom zuerst direkt durch das Galvanometer gehen und beobachte, ob es einen Ausschlag zeigt. Dann schalte man um, so daß jetzt der Wechselstrom durch die Schwefelsäure geht, und beobachte wieder das Galvanoskop. Man vergleiche diese Erscheinung mit den in den vorigen Versuchen beobachteten. Ist der durch die Zelle mit der Aluminiumanode gegangene Strom demnach ein Wechselstrom oder ein Gleichstrom?

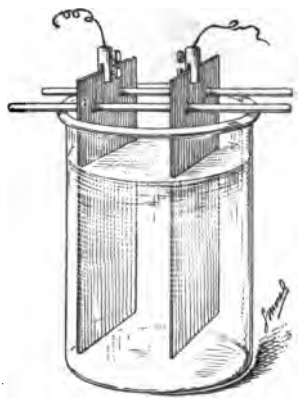


Fig. 287.

3. Man stelle vier derartige „Filtrierzellen" aus je einer Aluminiumanode und einer Eisenkathode so nebeneinander, daß die nach einer Seite gerichteten Elektroden abwechselnd Aluminium und Eisen sind. Man verbinde den einen Pol einer Wechselstrommaschine mit den beiden ersten Zellen, also mit einer Aluminium- und einer Eisenelektrode, den anderen Pol mit den anderen beiden Zellen, also wieder mit einer Aluminium- und einer Eisenelektrode. Die zweiten Elektroden der vier Zellen verbinde man derartig miteinander, daß die Eisenelektrode der ersten mit der Aluminiumelektrode der letzten und ebenso die Aluminiumelektrode der zweiten mit der Eisenelektrode der dritten zusammenhängt. An diese beiden Verbindungsdrähte schließe man die nach außen führende Stromleitung, in welche man ein Ampèremeter einschaltet. Wie verhält sich die Stromstärke bei dieser Schaltung zu der bei Verwendung nur einer Zelle, wenn die Wechselstrommaschine in beiden Fällen gleich arbeitet?

167. Zusammenhang des chemischen und des elektrischen Vorganges im galvanischen Element. Man stecke zwei gleichlange, aus sehr dünnem Zink- bzw. Kupferblech geschnittene schmale Streifen

parallel zueinander durch einen Kork, so daß sie auf der einen Seite des Korkes ein längeres, auf der andern ein kürzeres Ende hervorragen; das längere Ende des Zinkes amalgamiere man. Zwei solcher Streifenpaare stelle man in ein mit verdünnter Schwefelsäure gefülltes Gefäß. Man schließe den Strom des einen dieser Elemente, indem man einfach das obere Ende des Kupferstreifens umbiegt, so daß er den Zinkstreifen dauernd berührt. Man beobachte beide Elemente. In welchem findet Gasentwicklung und völlige Auflösung des Zinkes statt.

168. Elektrolyse in galvanischen Elementen. 1. Man ersetze in einem Daniell-Element (152) die Kupferplatte durch eine Platinplatte oder einen Kohlestab, schließe den Strom durch einen kurzen, dicken Kupferdraht (Kurzschluß) und beobachte nach Öffnung des Stromes die positive Elektrode.

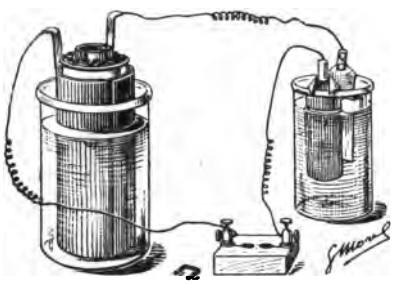


Fig. 288.

2. Man verbinde ein Daniell-Element unter Einschaltung eines Unterbrechers mit einem Kupfervoltameter (Fig. 288); vor Beginn des Versuches wäge man sämtliche vier Platten. Man lasse den Strom etwa eine Viertelstunde geschlossen und bestimme dann wieder das Gewicht der mit Wasser abgewaschenen und getrockneten Platten. Wenn auf einer Platte ein kristallinischer Niederschlag *ist*, trockne man ihn, indem man die Platte einen Augenblick in Alkohol taucht und diesen dann verdunsten läßt. Man vergleiche das Gewicht der Kupferniederschläge im Element und im Voltameter miteinander, ferner für das Element das Verhältnis der Gewichte des niedergeschlagenen Kupfers und des aufgelösten Zinkes mit den Atom-(Äquivalent)gewichten dieser Metalle.

169. Polarisation und Elektrolyse in Elementen. 1. Man stelle eine Kupferplatte und eine amalgamierte Zinkplatte in verdünnte Schwefelsäure, ohne den Strom zu schließen, und beobachte, ob eine Entwicklung von Wasserstoff stattfindet, ob sich also auch Zinkvitriol gebildet haben kann. Um dies genauer festzustellen, nehme man eine Probe der Flüssigkeit in ein Reagenzglas und bringe in diese nach und nach immer größere Menge von Kaliumkarbonat, bis man mit Hilfe von Lackmuspapier nachweisen kann, daß die Flüssigkeit neutralisiert ist. Bewirkt eine weitere Menge des Karbonates keinen Niederschlag von weißem Zinkoxyd, so hatte sich kein Zinkvitriol gebildet; hierbei vermeide man, die Menge des Kar-

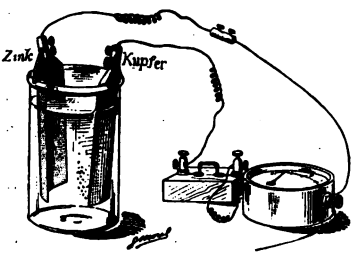


Fig. 289.

bonates zu groß zu nehmen, da das Zinkoxyd im Überschuß der alkalischen Lösung sich wieder löst. Dann schließe man den Strom unter Einschaltung eines Ampèremeters (Fig. 289) und beobachte wieder am Ampèremeter die Abnahme der Stromstärke und an den Platten die Gasentwicklung. An welcher Elektrode findet sie statt? Man ändere die Stärke der Entwicklung, indem man die Länge und Dicke der Drähte und die Entfernung der Platten ändert. Dann öffne man den Strom und untersuche wieder an einer Probe der Flüssigkeit, ob sich Zinkvitriol gebildet hat.

2. Man schalte wie im vorigen Versuch ein Ampèremeter der Reihe nach in den Stromkreis der verschiedenen Elemente (151 und 152) und beobachte bei längerem Stromschluß das Ampèremeter. Man ordne die Elemente, je nachdem sie mehr oder weniger konstant bleiben. Durch die Benutzung welcher Flüssigkeit bzw. die Abscheidung welches Gases wird beim Bunsen- und Grove-Element die Polarisation der Elektrode durch Wasserstoff vermieden; welche Flüssigkeit bzw. welcher Niederschlag hat beim Daniell-Element dieselbe Wirkung?

170. Akkumulatoren. Man schneide drei gleichgroße Bleiplatten, lasse aber an einer Ecke in der Verlängerung der längeren Kante

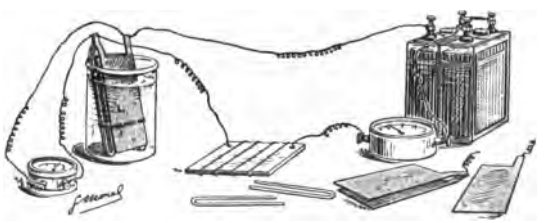


Fig. 290.

einen Streifen stehen (Fig. 290). Zwei dieser Platten lege man so aufeinander, daß die Streifen zusammengelötet werden können; an diese und ebenso an den Streifen der dritten Platte löte man Kupferdrähte. Diese dritte Platte lege man so zwischen die beiden andern Platten, daß die Streifen in gleicher Höhe, aber einander gegenüberstehen. Über die mittlere Platte lege man, um ihre Berührung mit den anderen zu vermeiden, zwei ∩-förmig gebogene Glasröhren. Man stelle alle drei Platten, welche man durch zwei Kautschukringe zusammenhält, in ein mit verdünnter, chemisch reiner Schwefelsäure gefülltes Glasgefäß, verbinde die Drähte mit einem Voltmeter, d. i. ein Ampèremeter mit sehr vielen Windungen aus sehr dünnem Kupferdraht, ferner unter Einschaltung eines Ampèremeters und eines als Widerstand dienenden langen, auf ein Brett aufgewickelten Kupferdrahtes mit den Polen einer Batterie und lasse den Strom längere Zeit wirken; die innere Platte nehme man als positive Elektrode. Man beobachte, wie die positive Platte mehr und mehr mit Bleisuperoxyd bedeckt und die Farbe der negativen Platten

immer heller wird. Wie verhalten sich das Ampèremeter und das Voltmeter? Man schalte die Batterie aus und schließe den Polarisationsstrom. Man beobachte wieder das Ampèremeter und das Voltmeter und die Dauer des Stromes. Ein derartiges Element, in welchem also gleichsam Elektrizität angesammelt und welches selbst wieder als Stromquelle benutzt werden kann, hat also für die galvanische Elektrizität dieselbe Bedeutung wie die Kondensatoren (120) für die Reibungselektrizität; man nennt ein solches Element einen Akkumulator. — Man lade und entlade den Akkumulator mehrere Male hintereinander, indem man die Ladung jedesmal für dieselbe Zeit ausführt, und beobachte die bei Beginn jeder Entladung durch das Ampèremeter angezeigte Stromstärke und die Dauer der Entladung. Dann lade und entlade man einige Male unter Umwechslung der Pole und stelle, wenn man wieder in der früheren Stromrichtung ladet, dieselben Beobachtungen an. Man beachte, wie durch das wiederholte Laden der schwammige Überzug der Platten verstärkt und dadurch das Element „formiert" wird, d. h. eine kräftigere und für längere Zeit andauernde Ladung aufzunehmen vermag. — Man nehme die Platten heraus, stelle sie in ein Gefäß mit einer Flüssigkeit, die man durch Kochen von Natron mit einem Überschuß von Bleiglätte erhalten hat, und schicke durch diese Flüssigkeit den Strom der Batterie hindurch, so daß sich auf der einzelnen (positiven) Platte ein Niederschlag von Bleisuperoxyd und auf den negativen schwammiges Blei bildet. Dann stelle man die Platten wieder in das frühere Gefäß und lade den Akkumulator wie bei den ersten Versuchen. Man beachte wieder bei Beginn der Entladung das Ampèremeter und die Dauer des Entladungsstromes. — Man kann die Elektroden auch mehrere Stunden lang in einer Lösung stehen lassen, die aus 5prozentiger Salpetersäure und 10prozentiger Schwefelsäure besteht. Diese Lösung zerfrißt das Blei und macht es schwammig. Ehe man dann die Platten wieder in das frühere Gefäß stellt, muß man sie lange und sorgfältig waschen, um die Salpetersäure gänzlich zu entfernen.

171. Rheostaten Die Rheostaten sind Apparate, welche dazu dienen, Widerstände in einen Stromkreis einzuschalten oder aus ihm auszuschalten, ohne ihn zu unterbrechen. Diese Widerstände sind entweder von bekanntem Wert, wenn sie zu Vergleichungen und Messungen benutzt werden sollen, oder von unbekanntem Wert, wenn sie nur als Ballastwiderstände verwendet werden, um die Stärke eines Stromes nach Belieben zu schwächen. Als Widerstandseinheit ist gesetzlich der Widerstand einer Quecksilbersäule von 0^0 angenommen, deren Länge bei überall gleichem Querschnitt 106,3 cm und deren Masse 14,4521 g beträgt, was 1 qmm Querschnitt gleichgeachtet werden darf.

Für kleinere Ballastwiderstände genügt es, einen längeren Draht, auf dem sich eine zylinderförmige Klemmschraube bewegen kann, auf ein Brett zu spannen.

Für größere Widerstände ist es am einfachsten, auf einem längeren Brett (Fig. 291) Draht aus Neusilber, Manganin, Konstantan oder Nickelin so aufzuspannen, daß die einzelnen Windungen des nicht

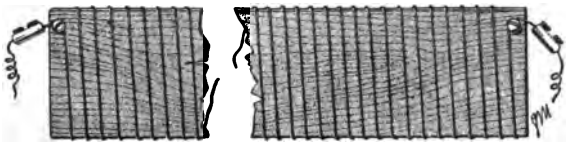


Fig. 291.

isolierten Drahtes sich nicht berühren. Man kann den Draht auch, wie Fig. 292 zeigt, auf einem Porzellan- oder Steinzylinder mit ein-

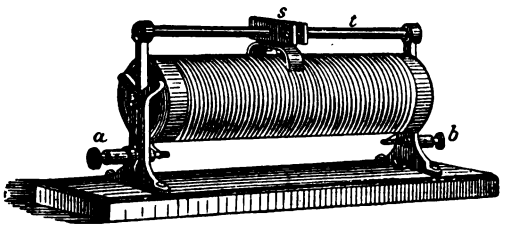


Fig. 292.

geschnittener Schraubenlinie aufwickeln; das eine Drahtende ist mit der Klemmschraube *a* verbunden. Auf der Metallleiste *t* ist ein

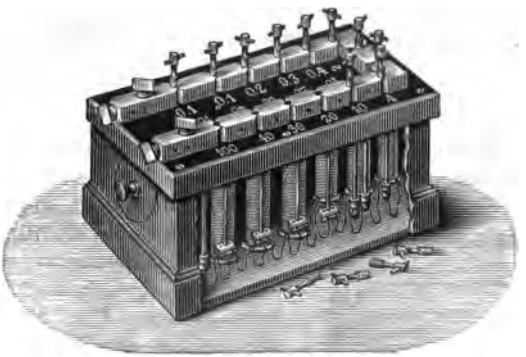


Fig. 293.

Bügel *s* verschiebbar, der mit kräftiger Feder auf dem Drahte schleift; die Metallleiste steht mit der Klemmschraube *b* in Verbindung.

Um nach Belieben genau abgemessene Widerstände in den Stromkreis einschalten zu können, dient der Stöpselrheostat oder Widerstandskasten, in welchem die Widerstände in Form von Drahtrollen angebracht sind. Über jeder Drahtrolle befindet sich auf

dem aus Hartgummi hergestellten Deckel eine dicke Messingplatte (Fig. 293), von denen die erste und die letzte die Klemmschrauben

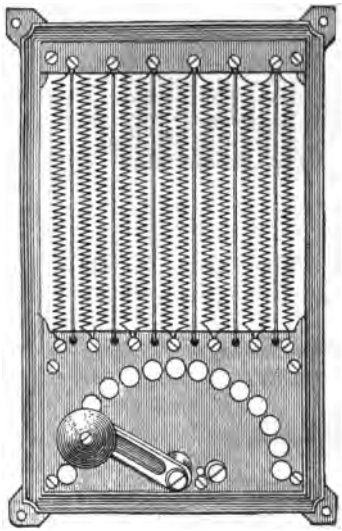


Fig. 294.

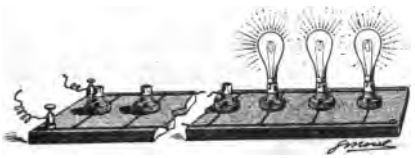


Fig. 295.

Fig. 296.

tragen. Ein Ende jeder Drahtrolle ist an die über ihr befindliche, das andere Ende an die nächste Metallplatte gelötet. Sind alle Stöpsel eingesteckt, so geht der Strom durch sämtliche Metallplatten; wird ein Stöpsel herausgezogen, so muß der Strom durch die zugehörige Drahtrolle gehen. Um die Erwärmung der Drähte durch den Strom möglichst zu verhindern, kann das Innere des Kastens mittels eines seitlich angebrachten Holzstöpsels mit der äußeren Luft in Verbindung gebracht werden.

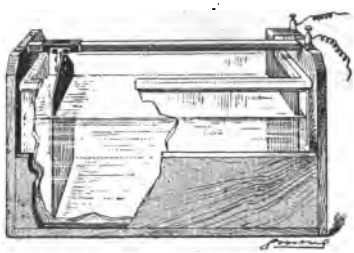


Fig. 297.

Für stärkere Ströme werden die Widerstände gewöhnlich in der aus Fig. 294 ersichtlichen Form angewendet; die aus Konstantan oder anderen Legierungen bestehenden Drähte sind in Form von

Spiralen aufgespannt und hintereinander geschaltet. Die Enden der Spiralen sind sämtlich an isolierenden Metallknöpfen befestigt, über die eine Metallkurbel hinweggleiten kann, so daß, da die äußere Leitung zum Anfang der ersten Spirale und zur Kurbel geht, mehr oder weniger Spiralen in den Stromkreis eingeschaltet werden können. Für größere Widerstände werden auch Glühlampen benutzt, welche nach der aus Fig. 295 ersichtlichen Anordnung auf einem Brett angebracht werden. — Auch Flüssigkeitsrheostaten können für größere Widerstände benutzt werden. Man fülle eine vertikal gestellte Glasröhre (Fig. 296) oder ein Akkumulatorgefäß (Fig. 297) mit Kupfervitriol; als Elektroden verwende man Kupferplatten, deren Größe gleich dem Querschnitt der Flüssigkeit ist. Den Widerstand dieser Rheostaten ändere man durch Änderung der Entfernung der Elektroden oder der Konzentration der Flüssigkeit. — Man kann auch ein Glasgefäß mit Wasser oder Sodalösung und als Elektroden Eisen benutzen.

172. Ohmsches Gesetz. 1. Man stelle sich ein Element (151, s) mit Hilfe eines langen Glastroges her, in welchem eine Zink- und eine Platinplatte von gleicher Größe parallel zueinander verschoben werden können (vergl. Fig. 297); den Trog fülle man mit verdünnter Schwefelsäure. Man verbinde die beiden Elektroden mit einem Rheostaten und einer Tangentenbussole oder einem Ampèremeter und beobachte den Ausschlag. Dann vergrößere man mit Hilfe des Rheostaten den „äußeren" Widerstand. Wird die Stromstärke größer oder kleiner? Man vergrößere den „inneren" Widerstand, indem man die Entfernung der Elektrodenplatten vergrößert. Wie ändert sich die Stromstärke? Bei sämtlichen Versuchen schließe man den Strom nur kurze Zeit, um die Gegenkraft des Polarisationsstromes (165) möglichst zu vermeiden. — 2. Man beobachte den Ausschlag für einen kleinen Gesamtwiderstand. Dann verdoppele man diesen, indem man die Platten auf die doppelte Entfernung bringt, den äußeren Drahtwiderstand verdoppelt und auch zu der Tangentenbussole eine zweite von gleichem Widerstande hinzufügt; um diese Gleichheit festzustellen, ersetze man vor der Verdoppelung des Gesamtwiderstandes die erste Tangentenbussole durch die zweite von gleichem Proportionalitätsfaktor und vergleiche die Ausschläge miteinander. In welchem Maße hat sich durch die Verdoppelung des Widerstandes die Stromstärke verändert? Verfügt man nicht über eine dritte Tangentenbussole, so entferne man in der letzten Anordnung die zweite Bussole und schalte im Rheostaten so viel Widerstand ein, daß der Ausschlag in der ersten Bussole derselbe bleibt; dieser Widerstand gibt den der Bussole an. Man verdreifache den Gesamtwiderstand und beobachte wieder den Ausschlag. In welcher Beziehung steht demnach die Stromstärke zum Gesamtwiderstand? — 3. Man schalte zwei der eben benutzten Elemente von ganz gleicher Art hintereinander (124), indem man die Zinkplatte des einen mit der Platinplatte des anderen verbindet, und gebe den Platten solche Entfernungen, daß diese zusammen so groß sind wie die Entfernung der Platten im ersten Versuch. Man nehme

auch denselben äußeren Widerstand, so daß der Gesamtwiderstand bei beiden Versuchsanordnungen genau derselbe ist. Man vergleiche die in beiden Versuchen beobachteten Ausschläge miteinander. In welcher Beziehung steht demnach die Stromstärke zur elektromotorischen Kraft? (150). Man kann auch als Elektroden eine Zink- und eine Kupferplatte benutzen und dann im letzten Versuch in der Mitte des Flüssigkeitstroges noch eine Doppelplatte von Zink und Kupfer eintauchen, so daß zwei verschiedene Metalle einander gegenüberstehen. Man erhält dadurch zwei Elemente, deren innere Widerstände zusammen ebenso groß sind wie der Widerstand des einzelnen Elementes.

Bezeichnet man die Stromstärke mit i, die elektromotorische Kraft mit e, den Gesamtwiderstand mit w und eine Konstante mit k, in welche einfache Formel lassen sich dann die gefundenen Beziehungen einkleiden? Gesetzlich ist als Einheit der elektromotorischen Kraft definiert und als 1 Volt bezeichnet diejenige elektromotorische Kraft, welche in einem Stromkreis vom Widerstand 1 Ohm einen Strom von der Stärke 1 Ampère erzeugt. Wie lautet hiermit dann einfach die nach ihrem Entdecker Ohm benannte gefundene Beziehung?

173. Schaltung der Elemente. 1. Man schließe den Strom eines Elementes unter Einschaltung einer Tangentenbussole oder eines Ampèremeters und eines kleinen äußeren Widerstandes und beobachte den Ausschlag des Strommessers. Dann schalte man vier Elemente hintereinander, indem man die positive Elektrode des einen Elementes mit der negativen des folgenden verbindet, und beobachte wieder den Ausschlag. Schließlich schalte man alle vier Elemente nebeneinander (parallel), indem man alle positiven Elektroden für sich und ebenso alle negativen für sich miteinander verbindet, und messe wieder den Ausschlag. Man vergleiche die Ausschläge der drei Versuche miteinander. — 2. Man wiederhole die Versuche unter Einschaltung eines großen äußeren Widerstandes und vergleiche die Ausschläge untereinander und mit denen der ersten drei Versuche. Bei welcher Schaltung erhält man für einen kleinen, bei welcher für einen großen äußeren Widerstand die größte Stromstärke? Man vergleiche die Versuche mit den über die Kondensatoren angestellten (124).

174. Stromverzweigung. 1. Man lasse von irgendeiner Stromquelle einen Strom vom positiven Pol durch ein Ampèremeter und einen Rheostaten gehen, sich dann auf zwei Leitungen verteilen, in die je ein Ampèremeter eingeschaltet ist, und zum negativen Pol zurückkehren (Fig. 298). Man vergleiche die in der unverzweigten Leitung gefundene Stromstärke, die man mit Hilfe des Rheostaten beliebig ändert, mit den in den Zweigen amb und anb (Fig. 299) beobachteten.

2. Man kann das Gesetz der Stromverzweigung auch mit Hilfe von Voltametern nachweisen. Man nehme als Elektroden Kupferplatten, die man, um sie über den Rand der Gefäße legen zu können, an ihren oberen Ecken umbiegt; in die Gefäße gieße man eine Lösung von 10 prozentigem Kupfervitriol und 5 prozentiger Schwefelsäure. In den unverzweigten Teil und in jeden Zweig des Stromkreises bringe

man ein solches Kupfer-Voltameter, in ersteren auch ein Ampèremeter (Fig. 300), um die Stromstärke beobachten zu können. Man

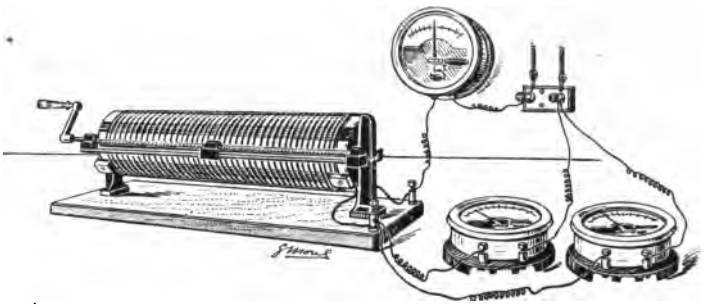


Fig. 298.

lasse den Strom etwa eine halbe Stunde hindurchgehen und bestimme und vergleiche dann die Gewichtszunahmen der Elektroden (168, 2).

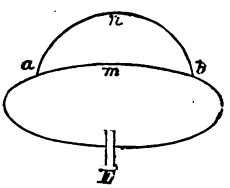


Fig. 299.

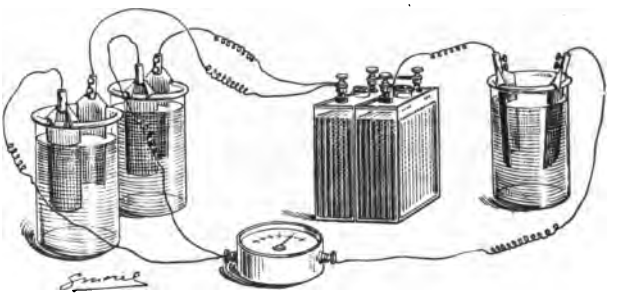


Fig. 300.

Man erhält größere Gewichte des niedergeschlagenen Metalles, wenn man Silbervoltameter und als Lösung eine 10 prozentige Silbernitratlösung benutzt.

175. Wheatstonesche Brücke. Man lasse den Strom durch Verzweigungen gehen, wie Fig. 301 angibt. Bei E schalte man die

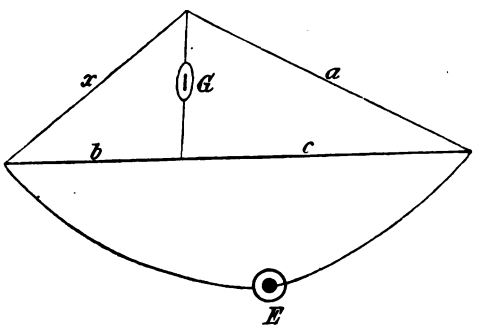


Fig. 301.

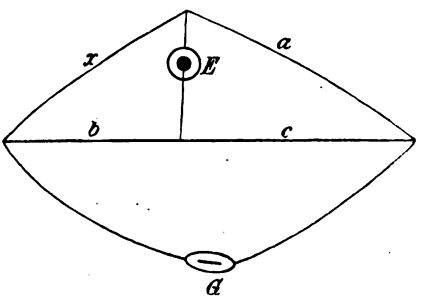


Fig. 302.

Stromquelle, bei G ein Galvanoskop, bei a und x je einen Rheostaten; die Widerstände bei b und c stelle man durch einen einzigen Draht her, den man auf einem Brett ausgespannt und unter dem man einen Metermaßstab angebracht hat, um die mittels eines Gleitkontaktes oder einer Klemmschraube veränderliche Länge der Teile des Drahtes messen zu können (Meßdraht).

Man ändere für verschiedene Werte der Widerstände a und x die Lage des Gleitkontaktes, bis das Galvanoskop keinen Strom anzeigt, und vergleiche dann das Verhältnis der Widerstände a und x mit dem von b und c.

Man lasse das Galvanometer und die Stromquelle ihre Stelle vertauschen (Fig. 302). Wie ändert sich dadurch die Erscheinung im Galvanoskop und die Beziehung zwischen den Widerständen?

176. Modell einer Wheatstoneschen Brücke. Die Köpfe von vier T-Stücken (I, 6) verbinde man durch Gummischläuche, so daß diese ein Viereck bilden. Den Stiel eines der T-Stücke schließe man an die Wasserleitung oder eine Mariottesche Flasche an, den des gegenüberliegenden führe man in den Ausguß. Zwischen den beiden anderen stelle man mit Hilfe von zwei Schläuchen und einem fünften T-Stück eine Verbindung her. Den Stiel dieses letzten T-Stückes stelle man vertikal nach oben und schließe ihn, wenn er mit Wasser gefüllt ist, durch einen Stopfen, von dem aus ein leicht beweglicher Faden mit seinem Ende gerade bis in die Richtung des Kopfstückes herabhängt, so daß er, wenn Wasser durch das Rohr fließt, hin und her bewegt wird. Auf die die vier Seiten des Vierecks bildenden Schläuche setze man Quetschhähne, welche man durch Schrauben mehr oder weniger zusammenquetschen kann.

Man reguliere zuerst die Stellung der Quetschhähne so, daß der Faden unbewegt herabhängt. Dann ändere man die Stellung eines Quetschhahnes, indem man ihn z. B. mehr zusammenschraubt, also den Widerstand dieser Viereckseite gegen die durchströmende Flüssigkeit vermehrt. Wie muß jede der anderen Schrauben geändert werden, damit durch Änderung einer einzigen der Faden wieder in seiner Ruhelage verharrt? In welcher Seite muß durch Zusammenschrauben des Quetschhahnes in dem angeführten Beispiel der Widerstand vermehrt, in welcher durch Nachlassen verringert werden?

177. Kirchhoffsche Gesetze. 1. Man lasse in dem über die einfache Stromverzweigung angestellten Versuch den Strom sich in b (vergl. Fig. 299) nochmals verzweigen, ehe er zur Stromquelle zurückkehrt, und stelle die Stromstärken in jedem der vier Zweige bei b durch Ampèremeter oder Voltameter fest. Wie groß ist die Summe dieser Stromstärken? Verfügt man nicht über so viele Ampèremeter, so schalte man an Stelle eines Ampèremeters so viel Widerstand ein, daß das andere desselben Kreises keine Änderung anzeigt, und benutze dann das Ampèremeter für die verschiedenen Zweige, indem man es durch entsprechenden Widerstand anderwärts ersetzt (172,2).

2. Man wiederhole den Versuch über die Wheatstonesche Brücke, in welcher man den Meßdraht durch Rheostaten ersetzt, indem man z. B. innerhalb des Kreises $x\,G\,b$ (vergl. Fig. 301) in jeden der Zweige x und b einen Rheostaten und ein Ampèremeter einschaltet. Man ändere den Widerstand der Rheostaten, bis das Galvanoskop keinen Ausschlag zeigt, und bestimme das Produkt aus Stromstärke und Widerstand für jeden Zweig des Kreises $x\,G\,b$. Wie groß muß, da das Galvanoskop keinen Strom anzeigt, für den Zweig G dieses Produkt sein? Wie groß ist die Summe dieser Produkte für den ganzen Kreis $x\,G\,b$? Man wiederhole den Versuch auch für den Kreis $a\,G\,c$. In beiden Fällen berücksichtige man, daß die Stromstärken der innerhalb eines Kreises einander entgegenfließenden Ströme mit verschiedenen Vorzeichen in die Rechnung einzuführen sind. Man stellt das Vorzeichen des Stromes am bequemsten fest, wenn man den geschlossenen Kreis in einer Richtung umwandert und gleichgerichteten Strömen das positive, entgegenfließenden Strömen das negative Vorzeichen gibt.

3. Man stelle eine genau entsprechende Berechnung auch für einen Kreis an, in welchem sich eine elektromotorische Kraft befindet, z. B. $E\,x\,a\,E$ und $E\,b\,c\,E$. Welchen Unterschied zeigen die Resultate dieser Versuche verglichen mit denen der vorigen Versuche und im Vergleich zueinander. Um den zuletzt gefundenen Konstanten eine Bedeutung geben zu können, berücksichtige man, daß nach den in Nr. 172 angestellten Versuchen das Produkt aus Stromstärke und Widerstand gleich der elektromotorischen Kraft ist. Warum mußte also innerhalb der Kreise $x\,G\,b$ und $x\,G\,c$ die gefundene Summe gleich Null sein?

178. Widerstand eines Drahtes. Substitutionsmethode. Man schalte einen 10 m langen und 0,4 cm dicken Kupferdraht, dessen Widerstand bestimmt werden soll, nebst einem Rheostaten und einem Ampèremeter in den Kreis einer möglichst konstanten Stromquelle (Daniell-Element oder Akkumulator) und reguliere den Rheostaten so, daß das Ampèremeter irgendeinen Ausschlag zeigt. Dann entferne man den zu untersuchenden Draht und schalte mit Hilfe des Rheostaten soviel Widerstand hinzu, daß das Galvanometer denselben Ausschlag wie vorher zeigt. Wie ergibt sich hieraus der gesuchte Widerstand?

179. Widerstand eines Drahtes. Methode der Wheatstoneschen Brücke. 1. Man schalte nach Fig. 301. Welche Stelle muß der Draht erhalten, dessen Widerstand bestimmt werden soll, welche der Vergleichswiderstand (Rheostat)? Fig. 303 zeigt eine Meßbrücke, bei welcher der ausgespannte Draht auf einer Skala liegt, die das Verhältnis der Längen direkt angibt und auf deren Brett auch der Vergleichswiderstand angebracht ist. Die Schaltung der Stromquelle, des Galvanometers und des zu untersuchenden Widerstandes ist aus der Zeichnung zu ersehen. An Stelle des Galvanometers läßt sich auch ein Telephon verwenden, wodurch die Methode besonders zur Bestimmung des Widerstandes von Elektrolyten (165) geeignet wird. —

Man stelle sich Widerstände von verschiedenen Werten her, indem man z. B. mit Seide übersponnenen Manganin- oder Neusilberdraht in verschiedenen Längen auf Korke oder Spulen aufwickelt und an den Enden Kupferdrähte anlötet. Man bestimme den Wider-

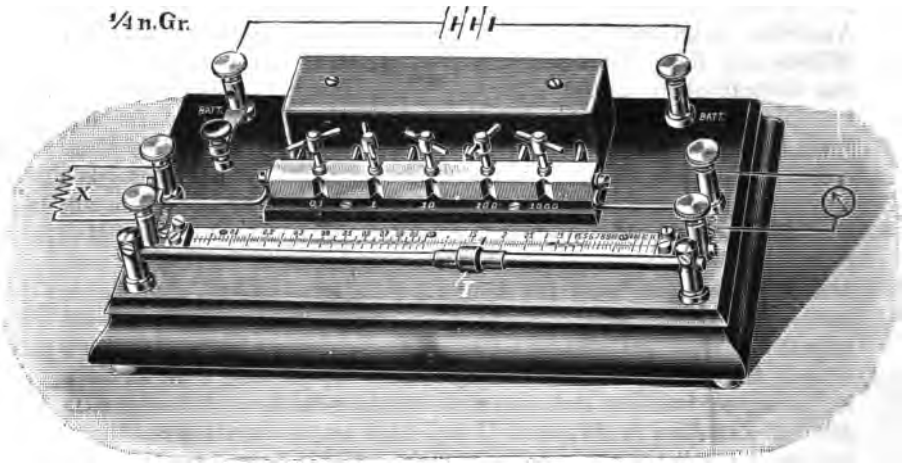


Fig. 303.

stand dieser Drähte, indem man als Vergleichswiderstand 1 Normalohm (171) benutzt.

2. Fig. 304 zeigt einen Rheostaten, der zugleich Brückenschaltung gestattet. Die Klemmschrauben B und E sind, wie die

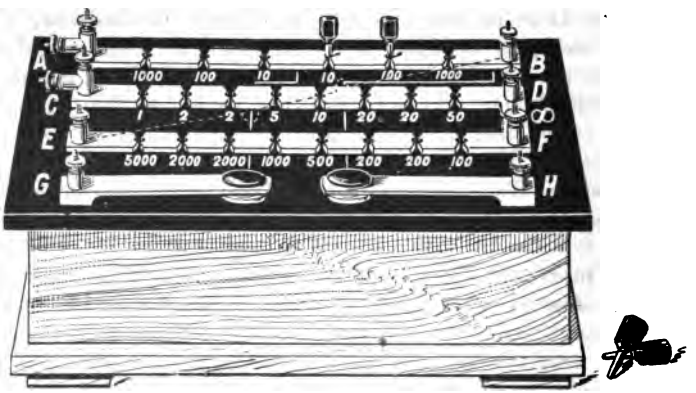


Fig. 304.

punktierte Linie andeutet, innerhalb des Kastens leitend verbunden. Die mit den Klemmschrauben G bzw. H verbundenen Galvanometertaster bzw. Stromtaster stehen, wie die ausgezogenen Linien zeigen, mit der Mitte der Metallleiste $A\,B$ bzw. mit der Klemme

B in Verbindung. Man stelle durch einen Stöpsel die Verbindung zwischen D und F her. Den einen Pol der Stromquelle verbinde man mit H, den andern mit der einen Klemme von A. Das Galvanometer schalte man zwischen G und C, den zu messenden Widerstand zwischen A und C. Man schalte zunächst in den beiden Hälften der den Meßdraht ersetzenden Metallleiste AB gleichviel Widerstand ein, nehme den Vergleichswiderstand ziemlich groß, drücke zuerst den Stromtaster, dann den Galvanometertaster nieder und beobachte, nach welcher Seite die Nadel des Galvanometers ausschlägt. Dann ändere man allmählich den Vergleichswiderstand, so daß die Nadel immer weniger ausschlägt. Hat man, wenn die Nadel einmal nach der andern Seite ausschlägt, zuviel oder zu wenig Widerstand ausgeschaltet? Man fahre mit dem Ausschalten des Widerstandes fort, bis die Nadel nicht mehr ausschlägt. Wie findet man dann die Größe des gesuchten Widerstandes? Der Vergleichswiderstand gestattet 11110 Ohm zu schalten. Ist der zu messende Widerstand größer als 11110 Ohm oder soll er in Bruchteilen eines Ohm bestimmt werden, so schaltet man in den Hälften von AB nicht gleiche Widerstände ein. In welchem Verhältnis sind diese z. B. auszuschalten, wenn der zu messende Widerstand z. B. das Zehnfache oder ein Zehntel des Vergleichswiderstandes betragen soll?

180. Methode der Drahtbrücke für zwei wenig verschiedene Widerstände. Längs eines Brettes spanne man einen etwa 1 m langen

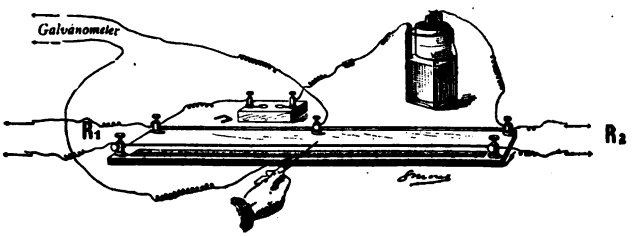


Fig. 305.

und 1 mm dicken Manganindraht von bekanntem Widerstande; unterhalb des Drahtes befestige man einen Meterstab. Auf dasselbe Brett spanne man einen zweiten Manganindraht von großem Widerstande; man wähle den Widerstand dieses Drahtes ungefähr so groß wie die Summe der beiden zu vergleichenden und des Meßdrahtes; genau in der Mitte dieses Hilfsdrahtes befestige man eine Klemmschraube. Die benachbarten Klemmen der beiden Drähte verbinde man mit den zu vergleichenden Widerständen R_1, R_2 (Fig. 305). Die beiden äußersten Klemmen des Hilfsdrahtes verbinde man unter Einschaltung eines Unterbrechers mit den Polklemmen des Elementes. Das Galvanometer lege man in die Brücke, indem man einen Draht desselben mit der mittleren Klemme des Hilfsdrahtes verbindet; am Ende des andern Drahtes befestige man einen kleinen Holzstab, mit dessen Hilfe man das Drahtende fest auf den Meßdraht drückt.

Man verschiebe das bewegliche Drahtende, bis das Galvanometer keinen Strom anzeigt, und bestimme die Teile des Meßdrahtes. Dann lasse man die Widerstände R_1 und R_2 ihre Stelle tauschen und verschiebe wieder das Drahtende auf dem Meßdraht, bis in der Brücke kein Strom fließt. Man stelle für beide Versuche die für die Wheatstonesche Brücke geltenden Formeln auf, indem man berücksichtigt, daß die beiden Teile des hinteren Hilfsdrahtes genau gleichen Widerstand haben, indem man ferner die Länge des Meßdrahtes zwischen den beiden Berührungsstellen des beweglichen Drahtendes in die Rechnung einführt und die Teillängen des Meßdrahtes durch Subtraktion beider Gleichungen eliminiert. In welcher Beziehung steht der Widerstand des zwischen den Berührungsstellen des beweglichen Drahtendes befindlichen Drahtstückes zur Differenz der zu vergleichenden Widerstände R_1 und R_2?

181. Schaltung von Widerständen. Leitfähigkeit. 1. Man bestimme mit Hilfe der Wheatstoneschen Brücke den Widerstand zweier Drähte. Dann schalte man diese beiden Drähte hintereinander, bestimme wieder den Widerstand und vergleiche ihn mit den Widerständen der einzelnen Drähte. — 2. Man schalte die beiden Drähte durch eine einfache Stromverzweigung parallel, bestimme den Widerstand dieses Systems und vergleiche den reziproken Wert mit den reziproken Werten des Widerstandes der einzelnen Drähte. Bezeichnet man den reziproken Wert des Widerstandes als die Leitfähigkeit des Drahtes, in welcher Form läßt sich dann die eben gefundene Beziehung aussprechen?

Einheit der Leitfähigkeit ist das Mho, d. h. die Leitfähigkeit eines Drahtes, dessen Widerstand 1 Ohm ist.

182. Abhängigkeit des Widerstandes eines Drahtes von Länge und Querschnitt. 1. Abhängigkeit von der Länge. Man messe die Längen einer Anzahl Konstantandrähte, die von demselben Drahtstück genommen sind, und bestimme ihren Widerstand mit der Wheatstoneschen Brücke. Man vergleiche die Resultate mit den Längen der Drähte. In welcher Beziehung steht der Widerstand eines Drahtes zu seiner Länge? Welche Formel kann man für diese Beziehung aufstellen, wenn w den Widerstand, c die Länge des Drahtes und k_1 eine Konstante bedeuten? — 2. Abhängigkeit vom Querschnitt. Man stelle die vorigen Versuche mit einer Anzahl von Konstantandrähten an, die sämtlich dieselbe Länge, aber verschiedene Querschnitte haben. In welcher Beziehung steht der Widerstand eines Drahtes zu seinem Querschnitt? Wie lautet die Formel für diese Beziehung, wenn wieder w den Widerstand, q den Querschnitt und k_2 eine Konstante bedeuten?

In welche Formel kann man die beiden gefundenen Beziehungen kleiden, wenn K eine Konstante bedeutet?

183. Spezifischer Widerstand eines Drahtes. Man messe die Länge und den Querschnitt (I, 7) einer Anzahl von Drähten verschiedenen Materiales, bestimme den Widerstand dieser Drähte nach

einer der angegebenen Methoden und berechne für jedes Material den spezifischen Widerstand, d. h. den Widerstand eines Drahtes von 1 cm Länge und 1 qcm Querschnitt (Zentimeterwürfel) in Ohm. Man vergleiche die gefundenen Werte miteinander.

184. Abhängigkeit des Widerstandes eines Drahtes von der Temperatur. Man löte an die Enden der zu benutzenden Drähte von Kupfer, Platin, Manganin oder Konstantan dicke Kupferdrähte, schiebe einen der beiden Kupferdrähte durch eine enge Glasröhre, wickele den zu untersuchenden Draht dann um die Röhre herum, und binde den anderen angelöteten Kupferdraht an das Rohr an (Fig. 306).

Man stelle diese Röhren in Reagenzgläser, die so weit mit einem schwer siedenden Öl gefüllt sind, daß die Drähte ganz be-

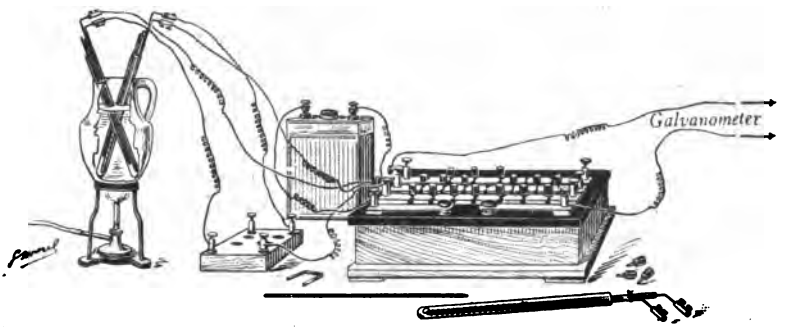


Fig. 306.

deckt werden; die Reagenzgläser stelle man in ein Wasserbad. Mit Hilfe eines mehrteiligen Stromwählers (160) kann man gleich mehrere, z. B. zwei Drähte untersuchen.

Man bestimme den Widerstand jedes Drahtes für Zimmertemperatur, erwärme allmählich bis auf eine Temperatur von 100°, die man mittels eines in Öl gehaltenen Thermometers mißt, und bestimme wiederholt den Widerstand. In dem Augenblick der Messung erwärme man weniger, damit die Temperatur sich einigermaßen konstant erhält. Man wiederhole die Messungen auch bei abnehmender Temperatur, bis wieder die Zimmertemperatur erreicht ist. — Man zeichne die Kurve, welche die Widerstände als Funktion der Temperatur darstellt, und vergleiche die verschiedenen Drähte miteinander.

185. Das Bolometer. Aus Hartgummi oder Horn schneide man vier kleine rechteckige Rahmen, über die man dünnen Platindraht wickelt (Fig. 307). Die Enden befestige man in zwei an derselben Schmalseite befindlichen Löchern, mache den Widerstand aller vier einander genau gleich und löte dann an den Enden dicke Konstantandrähte an. Aus diesen vier Widerständen setze man eine Wheatstonesche Brücke zusammen (Fig. 308), indem man zwischen zwei zusammenstoßende ein Stück Konstantandraht auf einem Brett ausspannt. Man bringe zunächst alle vier Zweige in

einen gegen Wärmeeinflüsse durch Umwickelung mit Watte geschützten Kasten und verschiebe auf dem Stück Konstantandraht den nach dem Galvanoskop führenden Kontakt, bis dieses keinen Ausschlag mehr anzeigt. Dann nehme man aus dem Kasten zwei Rahmen heraus, welche gegenüberliegende Zweige der Brücke bilden, z. B. *a* und *d* oder *b* und *c*, und setze diese der zu untersuchenden Temperatur aus, während die anderen beiden während der ganzen Untersuchung in ihrem Kasten auf derselben Temperatur erhalten werden.

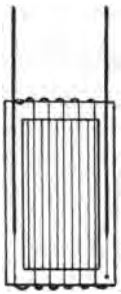


Fig. 307.

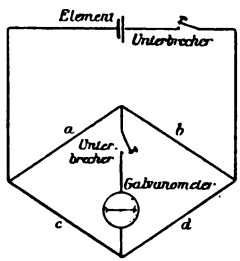


Fig. 308.

Man ändere zunächst, während man auch die Temperatur der nicht verpackten Zweige konstant erhält, die Stromstärke in dem das Element enthaltenden Zweige; wie ändert sich dadurch der Ausschlag des Galvanometers, wie ist somit dessen Angabe von der Stromstärke abhängig?

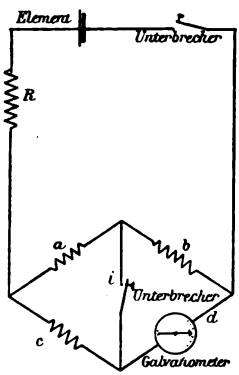


Fig. 309.

Man eiche das Bolometer, indem man, während ein schwacher Strom durch den Elementenzweig geht, das messende Widerstandspaar bekannten Temperaturen aussetzt und die diesen entsprechenden Ausschläge notiert. Für die Untersuchung von Temperaturen nehme man einen 100 oder 1000 mal stärkeren Strom; wieviel mal feinere Temperaturunterschiede kann man dann messen, als das bei der Eichung benutzte Thermometer abzulesen gestattet?

186. Widerstand eines Galvanometers. Man ändere die Schaltung der Brücke, wie es Fig. 309 angibt, und reguliere den Widerstand *c* so, daß über den Unterbrecher *i*, der die Rolle des bisher in der Brücke befindlichen Galvanoskopes spielt, kein Strom geht. Welchen Einfluß muß, wenn dies erreicht ist, das Schließen oder Öffnen des Unterbrechers auf das Galvanometer haben? Ist das Galvanometer sehr empfindlich, so schwäche man den vom Element kommenden Strom durch einen Ballastwiderstand *R*.

187. Widerstand von Elektrolyten. Zur Messung des Widerstandes von Elektrolyten benutzt man Wechselstrom (229, s) den man mit Telephon beobachtet. Man erhält dann die durch Fig. 310 gezeigte Anordnung.

Vielfach hat man den Induktionsapparat, welcher den Wechselstrom liefert, gleich auf demselben Brett mit Meßdraht und Vergleichswiderstand und erhält dann eine Anordnung (Fig. 311) ähnlich wie oben Fig. 302.

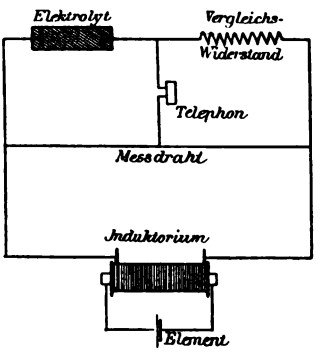


Fig. 310.

1. Abhängigkeit des Widerstandes von der Länge der Flüssigkeitssäule. Man fülle in ein graduiertes Standglas eine einprozentige Kupfervitriollösung. Als Elektroden benutze man kreisförmige Kupferplatten, an die man die Leitungsdrähte gelötet hat (Fig. 312). Man bringe die eine Platte, deren Leitungsdraht durch eine Glasröhre geführt ist, an den Boden des Standglases. Die andere Platte stelle man in verschiedenen Höhen über die erste, indem man den Leitungsdraht über den Glasrand legt. Man bestimme den Widerstand der Flüssigkeit, indem man die obere Platte

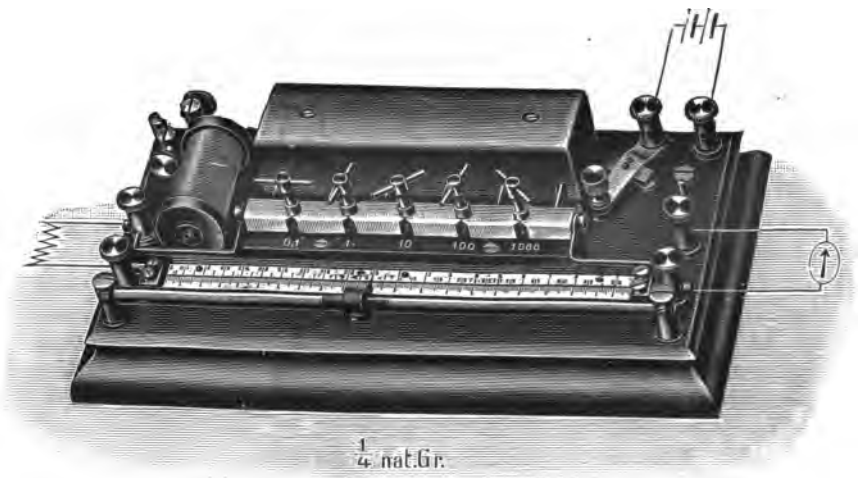


Fig. 311.

allmählich tiefer stellt. In welcher Beziehung steht der Widerstand zu der zwischen den beiden Platten zu messenden Länge der Flüssigkeitssäule? Wie lautet die Formel für diese Beziehung, wenn w den Widerstand, l die Länge der Flüssigkeitssäule und k eine Konstante bedeuten (182, 1)?

2. Abhängigkeit des Widerstandes vom Querschnitt der Flüssigkeitssäule. Man benutze als obere Elektrode einen Kupferdraht, den man in eine auf beiden Seiten offene Glasröhre

führt, welche man in die Flüssigkeit und zwar auf die untere Platte stellt. Man bestimme den Widerstand für verschiedene Querschnitte der Flüssigkeitssäule bei gleicher Länge, indem man Glasröhren von verschiedener Weite benutzt. In welcher Beziehung steht der Widerstand zum Querschnitt der Flüssigkeit? Wie lautet die Formel für diese Beziehung, wenn w den Widerstand, q den Querschnitt und k' eine Konstante bedeuten (182, 2)? Man kann für diese Messung auch einen offenen Trog benutzen, an dessen Schmalseiten sich die Elektroden in Form rechteckiger Platten befinden und den man verschieden hoch mit Flüssigkeit füllt (vgl. Fig. 297).

Fig. 312.

Man fasse beide Beziehungen unter Benutzung einer Konstanten K in eine einzige Formel zusammen.

3. Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur. Man bestimme den Widerstand der Flüssigkeit für irgendeine Länge und einen Querschnitt bei verschiedenen Temperaturen, indem man das Standglas zuerst mit der warmen Flüssigkeit füllt und diese dann allmählich erkalten läßt. Man konstruiere die Kurve, welche den Widerstand der Flüssigkeit als Funktion der Temperatur darstellt und vergleiche bezüglich der Änderung des Widerstandes mit der Temperatur Flüssigkeiten und Metalle miteinander (184).

4. Abhängigkeit des Widerstandes von der Natur des Elektrolyten. Man stelle eine Reihe von Widerstandsmessungen für dieselben Werte der Länge, des Querschnittes und der Temperatur der Flüssigkeitssäule mit gleichprozentigen Lösungen verschiedener Salze, z. B. Natrium- oder Kaliumchlorid, Zink- oder Kupfervitriol, an und vergleiche die gefundenen Werte miteinander.

In der vorher aufgestellten Formel ist also K' eine von der Natur des Elektrolyten abhängige Konstante. Man bezeichnet sie, wenn man die Länge des Drahtes in Zentimetern, den Querschnitt in Quadratzentimetern und den Widerstand in Ohm gemessen hat, als den spezifischen Widerstand und ihren reziproken Wert als die spezifische Leitfähigkeit (183).

188. Messung der spezifischen Leitfähigkeit. 1. Man fülle das in Nr. 187 benutzte Gefäß mit 30prozentiger Schwefelsäure und bestimme den Widerstand unter Anwendung von Elektroden aus Platinblech. Dann messe man Länge und Querschnitt der vom Strom durchflossenen Flüssigkeit und berechne die spezifische Leitfähigkeit.

Man berechne das Verhältnis der spezifischen Leitfähigkeit zur Konzentration, die „molekulare Leitfähigkeit", indem man die Konzentration des Elektrolyten durch die Zahl der in einem Liter der Lösung enthaltenen Grammmolekelgewichte mißt.

189. Molekulare Leitfähigkeit. 1. Man stelle sich Lösungen von Salzsäure und Kaliumchlorid in verschiedenen Verdünnungen her, indem man der Reihe nach 1 Mole, d. i. die durch das Molekel-

gewicht angegebene Zahl von Grammen, in 1 Liter (Normallösung), 2 Litern usw. löst. Man bestimme die molekulare Leitfähigkeit für jede Verdünnung und zeichne die Kurve, welche diese Leitfähigkeit als Funktion der Verdünnung darstellt. Nimmt die molekulare Leitfähigkeit mit der Verdünnung zu oder ab? Welchen Schluß kann man hieraus auf die Zu- oder Abnahme der Dissoziation der Molekeln ziehen, indem man beachtet, daß die Leitung der Elektrizität in Elektrolyten nur durch die durch Dissoziation der Molekeln entstandenen Ionen vermittelt wird? Läßt die Kurve erkennen, ob die Leitfähigkeit einem maximalen Wert zustrebt, für welchen also alle Molekeln dissoziiert sind? — 2. Man stelle dieselben Versuche auch für Ammoniak und Essigsäure, sowie für Alkohol an, zeichne wieder die Kurven und vergleiche sie mit den vorher gezeichneten. Man erinnere sich der in I, 188 bezw. I, 199 angestellten Versuche über Gefrierpunktserniedrigung bezw. Siedepunktserhöhung; wie sind die dort beobachteten Abweichungen von der einfachen Regel durch die hier gefundene Dissoziation zu erklären?

190. Wanderung der Ionen. 1. Man fülle ein Standglas mit einer 1prozentigen Lösung von Kupfersulfat und benutze als Elektroden zwei Kupferplatten, die man an Kupferdrähte gelötet hat. Den Draht der einen Platte biege man um und lege ihn über den Glasrand, so daß die Platte dicht unter der Flüssigkeitsoberfläche steht; den Draht der anderen führe man durch eine Glasröhre, so daß nur die am Boden liegende Platte mit der Flüssigkeit in Berührung kommt (vergl. Fig. 312). Man verbinde die untere Kupferplatte mit dem positiven, die obere mit dem negativen Pol einer Batterie und lasse durch die Flüssigkeit einen Strom von einigen Ampères etwa eine halbe Stunde lang hindurchgehen. Man beobachte die Farbe der Flüssigkeit.

2. Man benutze als Gefäß ein weites Glasrohr, das auf beiden Seiten durch Korkstopfen verschlossen wird, durch welche die Leitungsdrähte hindurchgehen; an diese werden durchlöcherte Kupferplatten gelötet. Man stelle die Glasröhre vertikal, fülle sie mit konzentrierter Kupfersulfatlösung, der man etwas Salpetersäure zugesetzt hat, und bringe die beiden Kupferplatten in die Mitte der Röhre, so daß die Flüssigkeit 1 bis 2 cm über der oberen Platte steht. Die dem Beobachter abgewendete Hälfte der Röhre bestreiche man mit einer rotgefärbten Gelatinelösung, so daß das Licht einer hinter der Röhre auf und ab bewegten Kerzenflamme nur oberhalb der Flüssigkeit gesehen wird. Man schicke den Strom von unten her durch die Flüssigkeit und beobachte die an den Polen auftretenden Schlieren. An welchem Pol steigen diese auf, an welchem ab? Man beachte, wie das Licht immer deutlicher durch die Röhre hindurchschimmert. An welchem Pol hat also infolge der Wanderung der Ionen eine Änderung der Konzentration stattgefunden?

3. Man verbinde ein U-Rohr, in dessen Krümmung eine kurze Glasröhre eingeschmolzen ist, mit einem Glashahn und mit diesem

durch einen Kautschukschlauch einen Trichter (Fig. 313). Man gieße bei geschlossenem Hahn eine tiefrote Lösung von übermangansaurem Kalium in den Trichter, öffne dann, damit keine Luft im Schlauch bleibt, den Hahn, bis etwas von der Flüssigkeit in das U-Rohr tritt, schließe dann den Hahn und nehme das U-Rohr fort, um es mit destilliertem Wasser zu reinigen. Man verschließe die untere Röhre mit einem lockeren Baumwollepfropfen, verbinde sie wieder mit dem Glashahn, gieße bis zur Hälfte angesäuertes Wasser in das U-Rohr, stelle die Trichterröhre so hoch, daß ihre Flüssigkeitsoberfläche nur wenig höher steht als das Wasser, öffne den Hahn und hebe den Trichter langsam hoch, so daß das übermangansaure Kalium eindringt und das Wasser, ohne sich mit ihm zu vermischen, verdrängt. Man hänge in das U-Rohr kleine Platinelektroden und schicke dann einen Strom durch *die* Flüssigkeiten. Weicht die Färbung an der Kathode oder *Anode* zurück? Welches Ion des übermangansauren Kaliums ist also gefärbt?

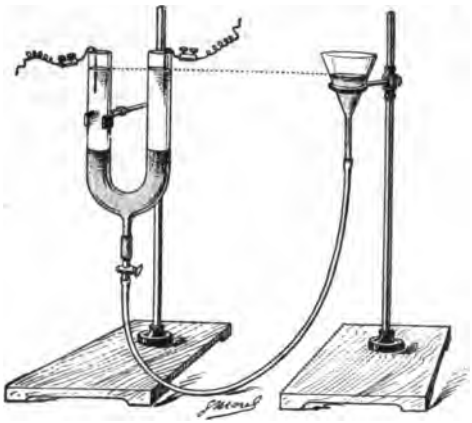


Fig. 313.

191. Innerer Widerstand eines Elementes. 1. Man setze bei der üblichen Anordnung der Wheatstoneschen Brücke an die Stelle, die sonst der zu untersuchende Draht einnimmt, das Element und an die frühere Stelle des Elementes einen Unterbrecher (Fig. 314). Bei geöffnetem Unterbrecher zeigt das Galvanometer einen ständigen Ausschlag. Dann schließe man den Unterbrecher und beobachte, ob der Ausschlag sich ändert. Man ändere die Widerstände so, daß durch den Unterbrecher, der jetzt als Brücke dient, kein Strom geht, was daran zu erkennen ist, daß der Galvanometerausschlag sich beim Öffnen und Schließen des Tasters nicht ändert. Dann ist $d = c \cdot \frac{a}{b}$.

Bei diesen Messungen müssen die vom Element gelieferten Ströme möglichst schwach sein, damit die eintretende Polarisation nicht hinderlich ist. Daher empfiehlt es sich, mit möglichst großen Widerständen zu operieren.

Man untersuche den Einfluß auf den inneren Widerstand, wenn die Elektroden ein größeres oder kleineres Stück aus der Flüssigkeit gehoben oder wenn beide Elektroden mehr oder weniger voneinander entfernt oder wenn Flüssigkeiten von verschiedener Leitfähigkeit genommen werden.

Man messe den Widerstand von zwei Elementen derselben Art einzeln, dann in Parallel- oder Hintereinanderschaltung (173).

2. Man bestimme den inneren Widerstand eines Elementes mit Hilfe von Wechselströmen, indem man bei der vorigen Anordnung an die Stelle des Unterbrechers die Sekundärspule eines Rühmkorffschen Induktionsapparates und an die Stelle des Galvanometers ein Telephon bringt. Man reguliere den Vergleichswiderstand, bis der Ton im Telephon möglichst verschwindet, und berechne dann den inneren Widerstand des Elementes in derselben Weise wie vorher (187).

Man bestimme nach einer der Methoden den inneren Widerstand des in Fig. 315 abgebildeten Schalenelementes. An den Boden einer flachen Schale lege man eine Kupferplatte, an welche man einen Kupferdraht gelötet hat; diesen Draht führe man, soweit er sich

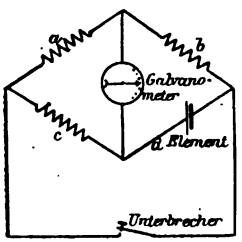


Fig. 314.

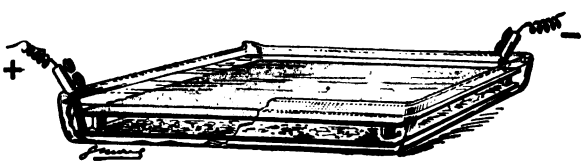


Fig. 315.

innerhalb der Schale befindet, durch eine Glasröhre. Auf die Kupferplatte bringe man fein gestoßenes Kupfervitriol. Auf vier in die Ecken der Kupferplatte gestellte Korkstückchen lege man eine Zinkplatte, an deren eine Ecke man gleichfalls einen nachher mit Marineleim gut isolierten Leitungsdraht gelötet hat. In die Schale gieße man eine gesättigte Salmiaklösung. — Nach Gebrauch des Elementes gieße man nur die Flüssigkeit fort.

192. Konzentrationsketten. 1. Man bringe in ein Gefäß verdünnte Zinkchloridlösung; dann schichte man unter diese eine konzentrierte Lösung, indem man sich eines Trichters bedient, dessen langes Rohr bis an den Boden des Gefäßes reicht. Man stelle in die beiden Flüssigkeiten eine Zinkplatte oder einen Zinkstab. In welcher Flüssigkeit löst sich Zink auf, in welcher schlägt sich Zink nieder (Zinkbaum)? — Man lasse ebenso einen Zinnbaum entstehen, indem man als den einen Elektrolyten konzentriertes Zinnchlorid, als anderen Wasser und als Elektrode einen Zinnstab benutzt. — 2. In ein größeres Glasgefäß gieße man zu etwa 400 ccm Wasser einige Kubikzentimeter einer 30prozentigen Zinkchloridlösung. Man tauche in dasselbe Gefäß eine auf beiden Seiten offene Glasröhre, in welche man am unteren Ende ein wenig Glaswolle gebracht hat, langsam hinein und gieße gleichzeitig in diese Röhre die konzentrierte Zinkchloridlösung. Dabei lasse man die Oberfläche der Flüssigkeit in der Röhre stets etwas tiefer stehen als im großen Gefäß, damit sich die beiden Flüssig-

keiten trotz des großen Unterschiedes ihrer spezifischen Gewichte nicht mischen. Wenn die Füllung der Röhre vollendet ist, tauche man in diese und in die sie umgebende Flüssigkeit zwei streifenförmige Zinkelektroden (Fig. 316). Dann schließe man den Kreis unter Einschaltung eines Galvanometers und eines Widerstandes und beobachte das Galvanometer. Welche der beiden Elektroden ist der positive, welche der negative Pol des durch den Unterschied der beiden Konzentrationen entstehenden Konzentrationselementes? An welchem Pol wird also Zink niedergeschlagen, an welchem löst sich solches auf? Wie lange wird die Konzentrationskette wirken?

Fig. 316.

Man schalte eine Batterie, ein Kupfervoltameter und ein empfindliches Galvanometer unter Benutzung eines Umschalters, z. B. eines Tasters, so, daß das Voltameter entweder nur mit der Batterie oder mit dem Galvanometer zu einem Kreise verbunden ist (vgl. Fig. 285). In den Kreis der Stromquelle bringe man außerdem noch einen einfachen Unterbrecher. Man schließe zunächst den Galvanometerkreis und beobachte, ob das Galvanometer etwa einen aus dem Voltameter herrührenden Strom anzeigt. Findet man einen solchen, so lasse man den Kreis so lange geschlossen, bis kein Ausschlag mehr erfolgt. Dann öffne man diesen Kreis, schließe den andern und lasse den Strom der Batterie kurze Zeit durch das Voltameter gehen. Dann schließe man schnell den Galvanometerkreis und beobachte, ob ein bemerkenswerter Ausschlag erfolgt. Man wiederhole den Versuch mit zwei Zinkelektroden in Zinkvitriol. Welches ist der Grund dieser der Polarisation ähnlichen Erscheinung?

193. Potentialdifferenzen an den Enden von Teilen des Schließungskreises. Man schalte einen auf einem Brett ausgespannten Draht und ein Ampèremeter in den Stromkreis zweier Akkumulatoren (Fig. 317), einen Teil des Drahtes und ein Galvanoskop nebst einem Unterbrecher in den Stromkreis eines andern Elementes derart, daß der beiden Stromkreisen gemeinsame Teil des Drahtes von zwei entgegengesetzt gerichteten Strömen durchlaufen wird; man nehme einen Teil des Drahtes doppelt oder nehme einen Draht von doppelter Dicke. Fig. 318 zeigt diese Anordnung schematisch.

1. Man schicke durch den Stromkreis des Galvanoskopes zuerst den Strom von zwei Daniell-Elementen, dann von einem Element, reguliere in jedem Versuch die Länge des gemeinsamen Drahtstückes so, daß im Galvanoskop kein Ausschlag erfolgt, und messe die Drahtlängen. Die Potentialdifferenz an den Enden des gemeinsamen Drahtstückes ist dann gleich der Potentialdifferenz an den Klemmen der

Elemente oder, da dasselbe stromlos ist, gleich den elektromotorischen Kräften. Diese verhalten sich wie 2 : 1. Man vergleiche mit diesem Verhältnis das Verhältnis der Drahtlängen. Wie ergibt sich dies Resultat aus den Kirchhoffschen Sätzen (177)?

2. Man nehme den Draht von doppelter Dicke als gemeinsames Drahtstück, schicke den Strom eines Daniell-Elementes durch den Kreis des Galvanoskopes und ändere die Drahtlänge, bis das Galvanoskop keinen Strom anzeigt. Man vergleiche die gemessene Draht-

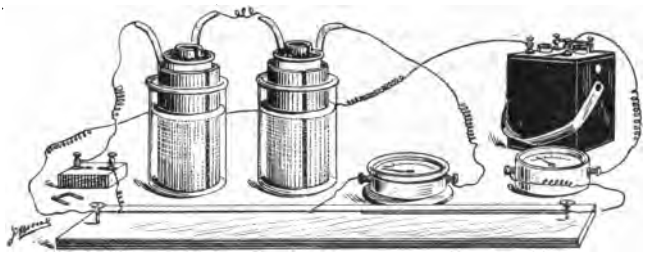


Fig. 317.

länge mit der Drahtlänge des ersten Versuches bei Benutzung zweier Elemente. In welcher Beziehung steht demnach die Potentialdifferenz an zwei Punkten eines Leiters zum Querschnitt desselben.

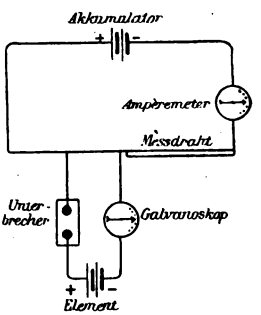


Fig. 318.

3. Man schicke den Strom eines Daniell-Elementes durch den Kreis des Galvanoskopes, einmal, wenn der dünnere Draht als gemeinsames Drahtstück genommen wird, dann, wenn ein Draht von demselben Querschnitt, aber von anderem Material benutzt wird, und ändere in jedem Versuch die Drahtlänge, bis das Galvanoskop keinen Strom anzeigt. Man vergleiche die beiden Drahtlängen mit den spezifischen Widerständen der Metalle. In welcher Beziehung steht demnach die Potentialdifferenz an zwei Punkten eines Leiters zum spezifischen Widerstand desselben?

Man fasse die gefundenen Beziehungen zusammen, indem man mit e die Potentialdifferenz, mit w den Widerstand und mit k eine Konstante bezeichnet; wie lautet die Formel?

4. Man benutze wieder den einfachen Draht, verringere mit Hilfe eines Rheostaten die Stärke des Hauptstromes um die Hälfte und reguliere die Drahtlänge, bis bei Benutzung eines einzigen Daniell-Elementes kein Ausschlag im Galvanoskop erfolgt. Man vergleiche diese Drahtlänge mit der im ersten Versuche bei Anwendung eines Elementes gemessenen Länge des benutzten Drahtes. Man wiederhole den Versuch für verschiedene Stromstärken und zeichne die

Kurve, welche die Länge des gemeinsamen Drahtstückes als Funktion der Stärke des Hauptstromes darstellt. In welcher Beziehung steht demnach die Potentialdifferenz an zwei Stellen eines Leitungsdrahtes zur Stromstärke?

5. Man schließe den Stromkreis eines Daniell-Elementes nur durch einen langen Draht. Die eine Klemme eines empfindlichen Galvanoskopes mit großem Widerstande verbinde man mit einem Pol des Elementes, die andere Klemme mit einem Punkte des Drahtes nahe diesem Pole. Man beobachte die Potentialdifferenz an den Enden des benutzten Drahtstückes. Dann ändere man die Länge dieses Stückes, indem man die Verbindung zwischen dem Pol des Elementes und dem Galvanoskope unverändert läßt. Nimmt die Potentialdifferenz zu oder ab? Man ändere die Drahtlänge andauernd, bis die zweite Klemme des Galvanoskopes mit dem andern Pol des Elementes verbunden ist. Welchen Wert hat jetzt die Potentialdifferenz angenommen? (Klemmenspannung).

194. Voltmeter. Man schließe den Stromkreis eines Elementes durch ein Ampèremeter und beobachte die Stromstärke. Dann verbinde man die Pole des Elementes unter Einschaltung eines Widerstandskastens außerdem noch mit einem empfindlichen Galvanoskop mit großem Widerstand und reguliere diesen Widerstand so, daß das Ampèremeter keine merkliche Änderung gegen vorher zeigt, d. h. also durch den aus Galvanoskop und Rheostaten gebildeten Zweig dieser einfachen Stromverzweigung kaum ein Strom geht, dieser äußerst schwache Strom aber doch durch das empfindliche Galvanoskop beobachtet werden kann. Man berechne aus dem Widerstande des Galvanoskopes einschließlich des durch den Rheostaten eingeschalteten Widerstandes und der aus der Eichung des Galvanoskopes (162) bekannten Stromstärke die Potentialdifferenz an den Polen des Elementes, die Klemmenspannung, und vergleiche den gefundenen Wert mit der elektromotorischen Kraft des benutzten Elementes. Der Unterschied ist bei hinreichend großem Widerstand so gering, daß der Wert der Klemmenspannung für die elektromotorische Kraft genommen werden kann. Hierauf beruht die Anwendung des „Voltmeters"; dasselbe ist wie ein Ampèremeter konstruiert, nur daß seine Spule aus vielen Windungen eines dünnen Drahtes besteht. Das Voltmeter kommt, wie das soeben benutzte Galvanoskop, immer in den Nebenschluß und gibt die Potentialdifferenz an seinen Klemmen. Wird das Voltmeter an die Pole eines sonst nicht geschlossenen Elementes gebracht, so gibt es direkt die elektromotorische Kraft an.

195. Methoden zur Messung elektromotorischer Kräfte. 1. Man schalte in den Stromkreis ein Ampèremeter und einen Rheostaten, beobachte die Stromstärke und berechne die elektromotorische Kraft der Stromquelle mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes, nachdem man die Widerstände des Ampèremeters und der Rheostaten, sowie den inneren Widerstand des Elementes bestimmt hat (191).

2. Man wiederhole den vorigen Versuch derart, daß man bei

verschiedenen Widerständen des Rheostaten zweimal die Stromstärke beobachtet, jedesmal das Ohmsche Gesetz aufstellt, aus beiden Gleichungen die Summe des Widerstandes des Ampèremeters und des inneren Widerstandes der Stromquelle eliminiert und dann die elektromotorische Kraft berechnet. Man bestimme nach einer dieser Methoden die elektromotorische Kraft eines Daniell- und eines Leclanché-Elementes und vergleiche die gefundenen Werte miteinander.

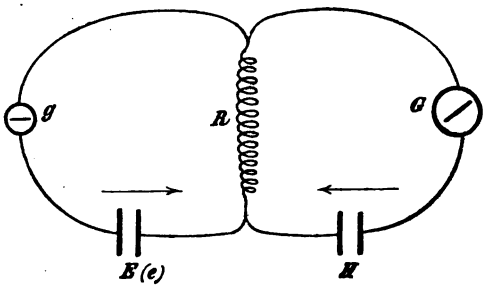


Fig. 319.

3. Man schalte einen Akkumulator und ein Daniell-Element mit einem empfindlichen Galvanometer und einem Rheostaten zu einem Stromkreis, einmal so, daß beide Ströme in gleicher, dann so, daß sie in entgegengesetzter Richtung laufen, und messe jedesmal den Ausschlag der Magnetnadel. Man berechne das Verhältnis der beiden elektromotorischen Kräfte, indem man berücksichtigt, daß im ersten Versuche ihre Summe, im zweiten ihre Differenz wirksam ist, und daß in beiden Versuchen der Gesamtwiderstand derselbe ist.

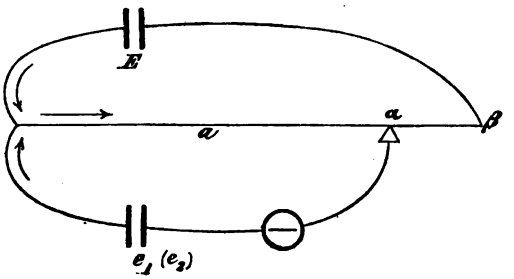


Fig. 320.

4. Man schalte nach der aus Fig. 319 ersichtlichen Anordnung; E und e bedeuten die beiden miteinander zu vergleichenden Elemente, z. B. ein Normalelement und ein Daniell-Element, H ein Hilfselement, das jedem der beiden an elektromotorischer Kraft überlegen ist, z. B. einen Akkumulator. In G befindet sich ein geeichtes Galvanometer, in g ein empfindliches Galvanoskop, in R ein Rheostat. Man schalte zuerst E, dann e in den Kreis, bestimme jedesmal den Widerstand des Rheostaten, für welchen das Galvanoskop g keinen Ausschlag zeigt, und mit Hilfe des Galvanometers G die zugehörige Stromstärke des durch den Rheostaten fließenden Stromes. Aus diesen Größen bestimme man das Verhältnis $E:e$, indem man jedesmal für den die elektromotorische Kraft E bzw. e enthaltenden Stromkreis das Kirchhoffsche Gesetz (177) aufstellt (Kompensationsmethode).

5. Man schalte ähnlich wie bei der in Nr. 193 benutzten Versuchsanordnung. In Fig. 320 bedeuten E die Hilfssäule, $e_1 (e_2)$ die

zu untersuchenden Elemente, α den beweglichen, β den festen Kontakt des Drahtes a. Man schalte in e_1 (e_2) zuerst ein Normal-, dann ein

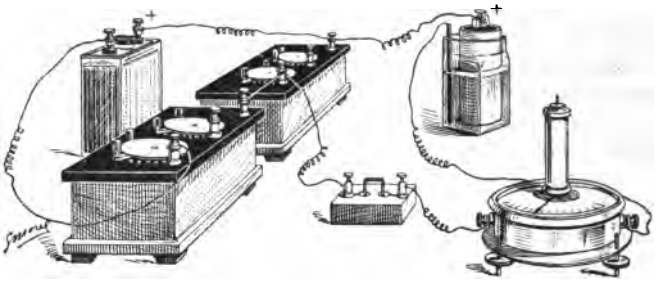


Fig. 321.

anderes Element, verschiebe den Kontakt α, bis das Galvanoskop stromlos ist, und berechne das Verhältnis $e_1 : e_2$ aus dem Verhältnis $a_1 : a_2$ des beiden Stromkreisen gemeinsamen Drahtstückes. — Verfügt man über zwei Rheostaten, die jeder mehr als 1000 Ohm Widerstand enthalten, so ändere man die eben benutzte Anordnung derart, daß beide Rheostaten an die Stelle des ganzen Drahtes und der eine Rheostat an die Stelle des gemeinsamen Drahtstückes treten (Fig. 321). Fig. 322 zeigt diese Anordnung schematisch. Man reguliere die Widerstände stets so, daß ihre Summe — entsprechend der konstanten Gesamtlänge des Drahtes des vorigen Versuches — konstant bleibt. Welches Verhältnis tritt an die Stelle des Verhältnisses der Längen des gemeinsamen Drahtstückes der vorigen Versuchsanordnung?

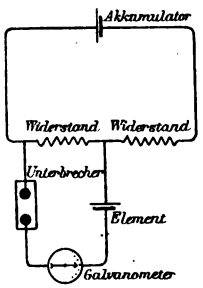


Fig. 322.

196. Elektromotorische Kraft von Konzentrationsketten. Man stelle eine Lösung her, in welcher sich eine Mole (189, 1) Silbernitrat auf 1 Liter Wasser befindet, die Normallösung, ferner weitere Lösungen, welche 10; 0,1; 0,01; 0,001; 0,0001fach normal sind. Als Gefäß benutze man ein H-förmiges Glasgefäß (vgl. Fig. 254), in welches man zwei am unteren Ende rechtwinklig umgebogene und bis zur Biegung in ein Glasrohr eingekittete Silberdrähte als Elektroden einführt. In den einen Schenkel des Gefäßes bringe man die zehnfache Normallösung, in den andern der Reihe nach die übrigen Lösungen, zuletzt destilliertes Wasser. Man bestimme für jedes dieser Elemente die elektromotorische Kraft nach der Kompensationsmethode (195, 4 u. 5). Man schalte nach der aus Fig. 320 ersichtlichen Anordnung in E eine konstante Batterie, z. B. einen Akkumulator, in e zuerst ein Normalelement e_1, dessen elektromotorische Kraft für eine bestimmte Temperatur bekannt ist, dann das zu untersuchende Element e_2, und verschiebe jedesmal auf dem Meßdraht a den Gleitkontakt α vom

Ende β aus so lange, bis das Galvanometer Stromlosigkeit anzeigt. Aus der Beziehung $e_1 : e_2 = a_1 : a_2$, wo a_1 und a_2 die Längen des beiden Stromkreisen gemeinsamen Drahtstückes bedeuten, berechne man die elektromotorische Kraft von e_2. Man zeichne die Kurve, welche die elektromotorische Kraft der Konzentrationskette als Funktion des Logarithmus des Verdünnungsverhältnisses darstellt. — Man vergleiche in derselben Weise wie vorher die elektromotorischen Kräfte zweier Elemente, welche durch verschiedene Konzentration der Elektroden, z. B. Natriumamalgam (155, 4), entstehen; als zweite Elektrode nehme man für dieses Beispiel Quecksilber, dem man den Strom durch einen in ein Glasrohr eingeschmolzenen Platindraht zuführt. Das Gefäß fülle man mit einer Kochsalzlösung.

197. Eichung eines Spiegelgalvanometers. Will man ein sehr empfindliches Galvanometer eichen, so kann man es in den einen Zweig einer einfachen Stromverzweigung legen, wie Fig. 323 angibt. In R bringe man etwa 2000, in P 1000 Ohm Widerstand, in r einen veränderlichen Widerstand von einigen Ohm, in E etwa ein Daniell-Element und vor das Galvanometer einen Unterbrecher (160). Verfügt man über den in Nr. 179, 2 beschriebenen Widerstandskasten, welcher Brückenschaltung gestattet, so kann man von diesem sämtliche Widerstände entnehmen. Man verbinde die Klemmen B und D durch einen kurzen, dicken Kupferdraht, entferne dagegen den in Nr. 178, 2 benutzten Stöpsel, welcher die Verbindung zwischen D und F herstellte. Die Leitungsdrähte des Elementes verbinde man mit den Klemmen C und F, die des Galvanometers mit A und C (Fig. 324). Welche Widerstände entsprechen dann den Widerständen P, R, r der schematischen Zeichnung?

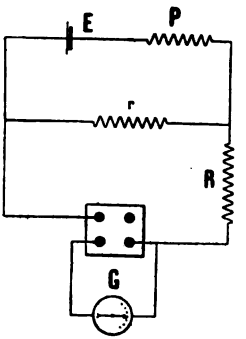


Fig. 323.

Man lege zunächst in r gar keinen, dann immer mehr und mehr Widerstand und bestimme jedesmal den Ausschlag des Galvanometers. Um die Stärke der durch das Galvanometer gehenden Ströme zu berechnen, stelle man nach den Kirchhoffschen Gesetzen die für die einzelnen Zweige geltenden Formeln auf und leite daraus jedesmal den Wert für die Stromstärke ab:

$$i = \frac{Er}{P(R+G) + r(G+R+P)},$$

wenn mit G der Widerstand des Galvanometers (185) bezeichnet wird.

Man zeichne die Kurve, welche die Ablenkung des Galvanometers, d. h. die Skalenteile des Lichtzeigers als Funktion der Stromstärke darstellt.

Um das Galvanometer näherungsweise zu eichen, kann man es auch direkt in den Stromkreis eines konstanten Elementes legen, unter gleichzeitiger Einschaltung eines Widerstandes, der so groß ist,

daß neben ihm der Widerstand des Galvanometers und der innere Widerstand des Elementes zu vernachlässigen sind. Man berechne aus diesem Widerstand und der bekannten elektromotorischen Kraft des Elementes die Stromstärke, bestimme die Zahl der Skalenteile

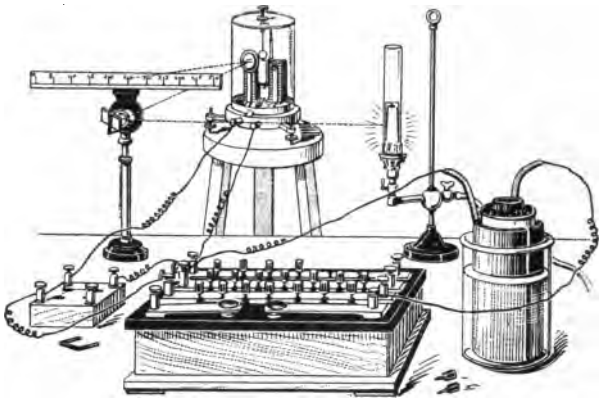


Fig. 324.

des Lichtzeigers und aus beiden Angaben die Zahl der Ampères, welche einem Skalenteil entspricht, oderzeichne wie vorher die Kurve.

198. Akkumulatoren beim Laden und Entladen. Man *lade* einen Akkumulator, dessen Klemmen mit einem Voltmeter (194) verbunden sind, und beobachte, ob die Gegenkraft des Akkumulators gleichmäßig oder ungleichmäßig ansteigt und schließlich stationär wird. Man beachte, wieviel Volt das Voltmeter beim Schluß des Ladens anzeigt. Dann unterbreche man den Ladungsstrom, schließe sofort den Entladungsstrom und beobachte dabei das Voltmeter. Welche Erscheinung zeigt sich? (Nicht umkehrbarer Prozeß.)

199. Niveau- und Stromlinien. 1. Man lege auf ein Zeichenbrett ein Blatt weißes Papier, auf dieses ein Blatt Kopierpapier und hierüber ein mit Stanniol beklebtes Blatt weißes Papier; das Ganze befestige man durch Reißnägel (Fig. 325). Zwei Reißnägel, an welche man die Drähte eines Elementes oder einer Batterie gelötet hat, befestige man symmetrisch an zwei Punkten der zwei Rändern des rechteckig geformten Papieres parallel laufenden Mittellinie. Einen Reißnagel, an welchen der eine Leitungsdraht eines Galvanometers gelötet ist, bringe man in einem beliebigen Punkte des Papieres an; den andern Leitungsdraht löte man an einen am Ende abgerundeten Kupferstab mit dünnem Holzgriff. Man führe diesen Kupferstab in der Nähe des die Verbindung mit dem Galvanometer herstellenden Reißnagels auf dem Papier so entlang, daß das Galvanometer keinen Strom anzeigt; dabei drücke man den Stab etwas auf, um auf dem untergelegten Papier einen Abdruck zu erhalten. Man wiederhole diesen Versuch für verschiedene Lagen des mit dem Galvanometer

verbundenen Reißnagels. Nach Beendigung der Versuche entferne man das Stanniol und das Kopierpapier und verbinde die Punkte, in welchen für jede Lage des Reißnagels das Galvanometer keinen Ausschlag zeigte, d. h. die durch den Nagel und den Kupferstab markierten Stellen des vom Strom durchflossenen Stanniols, welche dasselbe Potential besaßen. Man verfolge die verschiedenen Formen dieser Linien gleichen Potentiales, „Niveaulinien" (113), insbesondere die Form von Kreisen und die einer geraden Linie. Wo läuft diese?

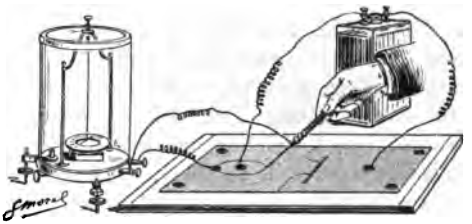


Fig. 325.

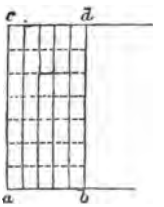


Fig. 326.

2. Man befestige die Reißnägel wieder wie in der ersten Versuchsanordnung und schneide längs der in der Mitte zwischen den beiden Elektroden und rechtwinklig zu ihrer Verbindungslinie laufenden geraden Linie gleichen Potentiales das Stanniol durch, suche wieder in derselben Weise wie vorher die Linien gleichen Potentiales und vergleiche ihre Formen mit denen der früheren Linien. Man suche insbesondere die Linien, welche aus zwei Zweigen bestehen, die senkrecht zu den Rändern des Stanniols und zur Schnittlinie enden. — Wie ändern sich die Kurven, wenn der Schnitt senkrecht zu einer Kurve gleichen Potentiales geführt wird? — Eine solche Richtung kann also als die Richtung einer „Stromlinie" angesehen werden. Man stelle durch verschiedene Schnitte die Richtungen solcher Stromlinien fest. Wie schneiden die Stromlinien die Niveaulinien?

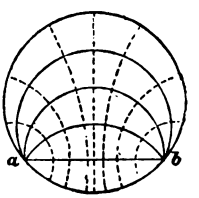


Fig. 327.

3. Man löte die Schmalseiten *ab* und *cd* (Fig. 326) eines dünnen Stanniolrechteckes an dicke Kupferstäbe, verbinde mit diesen die Pole der Stromquelle und suche wieder die Linien gleichen Potentiales. Wie laufen diese? Man zeichne in das Papier auch die „Stromlinien" ein, längs welcher die Strömung von einer Linie des einen Potentiales zu der Linie des anderen Potentiales geht. Wie müssen diese Stromlinien bei der letzten Versuchsanordung laufen?

4. Man löte die Leitungsdrähte der Batterie an zwei Punkte *a*, *b* (Fig. 327) des Umfanges einer Kreisscheibe aus Stanniol und suche die Linien gleichen Potentiales. Welche gleichmäßige Gestalt haben diese Kurven, und wo liegen ihre Mittelpunkte in bezug auf den Ein- und den Ausströmungspunkt des Stromes? Welche

Gestalt müssen die durch diese beiden Punkte gehenden Stromlinien haben?

200. Abhängigkeit der Niveau- und Stromlinien von der Leitfähigkeit. 1. Man zeichne bei der in der vorigen Nummer zuerst benutzten Versuchsanordnung eine Anzahl Niveaulinien und messe die Potentialdifferenzen zwischen solchen Linien, indem man mit den beiden Enden der Leitungsdrähte des Galvanometers längs einer Stromlinie entlanggeht. Dann bedecke man den Raum zwischen zwei Kurven gleichen Potentiales mit einem neuen Streifen Stanniol, so daß an dieser Stelle die Leitfähigkeit verdoppelt wird. Wie ändern sich die Formen der Linien gleichen Potentiales und die Potentialdifferenz zwischen den beiden Kurven, zwischen welchen das Stanniol liegt? — 2. Man nehme einen Teil des Stanniolblattes doppelt, so daß die Grenzlinie, längs welcher das Stanniol doppelt ist, schräg zur Verbindungslinie beider Pole liegt, und beobachte den Bruch der Stromlinien an der Grenze.

201. Strömung in körperlichen Leitern. 1. Man lege eine Kupfer- und eine amalgamierte Zinkplatte mit ihren umgebogenen

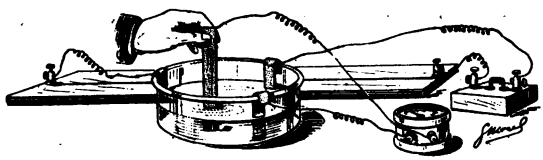


Fig. 328.

Enden, an die man Kupferdrähte gelötet hat, einander gegenüber über den Rand einer Kristallisierschale, die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt ist, und bringe in diesen Stromkreis einen auf einem Brett aufgespannten Draht von etwa 10 Ohm Widerstand und einen Unterbrecher (Fig. 328). Zwei Zinkplatten verbinde man mit einem Voltmeter, das mindestens 100 Ohm Widerstand hat und bis zu drei Volt anzeigt. Man kann auch unter Einschaltung eines hinreichend großen Widerstandes ein Galvanometer verwenden.

Man stelle bei geöffnetem Stromkreis die mit dem Voltmeter verbundenen Zinkelektroden in die Schale und zeige, daß keine Potentialdifferenz zwischen ihnen besteht. Dann schließe man den Strom und weise die Potentialdifferenz nach. Man ändere die Entfernung der beiden Zinkelektroden und beobachte die Potentialdifferenz, wenn die bewegte Zinkelektrode sich einer der Elektroden des Elementes nähert; dann suche man die Stellungen der bewegten Elektrode, für welche die Potentialdifferenz Null wird. Man markiere auf einer Kreisfläche, auf welcher man die Lagen sämtlicher Elektroden gezeichnet hat, die Stellungen der bewegten Zinkelektrode, für welche die Potentialdifferenz Null wird, und verbinde diese Punkte durch eine Kurve, Linie gleicher Potentialdifferenz (Niveaulinie). Man zeichne solche Linien für verschiedene Stellungen der nicht bewegten

Zinkelektrode. Wie laufen sie zum Rande der Kristallisierschale? Man vergleiche diese Erscheinung mit der der ersten Versuchsanordnung in Nr. 199. Um auch jenen Versuchen entsprechend durch die Flüssigkeit gleichsam einen Schnitt zu legen, halte man eine Glasplatte vertikal in die Kristallisierschale.

2. Man lege eine polierte, mit destilliertem Wasser abgespülte und getrocknete Zinkplatte auf den Boden einer Kristallisierschale und gieße in diese etwa 1 cm hoch eine Lösung von Bleiazetat. Um ein über der Schale liegendes Brett schlinge man einen doppelten Kupferdraht, dessen Enden, gabelförmig auseinandergebogen, senkrecht herunter gehen, so daß die etwa 3 cm voneinander entfernten Spitzen gerade die Flüssigkeit berühren (Fig. 329). Diese Elektrode verbinde man mit dem negativen Pol. Mit einem anderen, mit dem positiven Pol verbundenen Draht berühre man die Zinkplatte in einer Ecke. Läßt man den Strom einer Batterie von einigen Volt wenige Sekunden durch die Flüssigkeit gehen, so bilden sich auf dem Metall gefärbte Ringe von Bleisuperoxyd, welche man deutlich erkennt, wenn man die Platte spiegeln läßt.

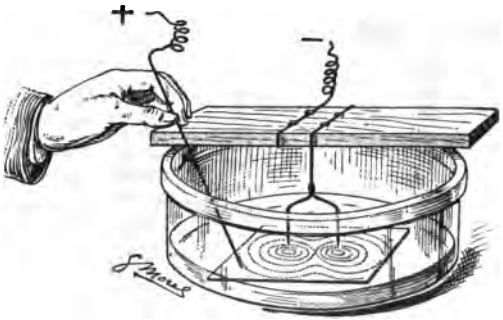


Fig. 329.

Man benutze nur eine Spitze als negative Elektrode. Welche Gestalt nehmen die Ringe an? Man vergleiche diese Erscheinung mit der in Nr. 51 beobachteten.

202. Stromwärme. Man wickle eine Spirale, Kalorimeterspirale, aus dünnem Manganindraht und löte an die Enden etwa 2 mm dicke Drähte aus Kupfer. Man führe den einen dieser Drähte durch eine Glasröhre (Fig. 330) und biege ihn rechtwinklig um, so daß er sich auf die Röhre stützen kann, den anderen binde man außen längs der Röhre fest. Will man größere Längen feineren Drahtes (0,25 mm dick) benutzen, so wickle man ihn auf eine sehr dünne Glasplatte (Fig. 331); damit beide Enden des Drahtes auf demselben schmalen Rande der Platte zu liegen kommen, führe man das eine Ende durch eine kleine Glasröhre, die man auf die Glasplatte legt und mit umwickelt. Beide Drahtenden stecke man durch kleine Löcher, die sich in den Ecken der Platte befinden.

1. Abhängigkeit von der Zeit. Man stelle die Kalorimeterspirale nebst einem Thermometer, das noch Zehntelgrade abzulesen gestattet, in ein mit Wasser gefülltes Kalorimeter (I, 204) und schicke einige Minuten lang einen Strom von etwa 2 Ampères durch die Spirale.

Man bestimme aus dem Gewicht des Wassers und der Anfangs- und Endtemperatur die in einer beliebigen Anzahl von Sekunden aufgenommene Wärmemenge. Dann wiederhole man den Versuch für dieselbe Stromstärke, aber für andere Zeitdauern und zeichne die Kurve, welche die Anzahl der Sekunden als Abszissen, die entwickelten Wärmemengen als Ordinaten enthält. Was für eine Kurve erhält man?

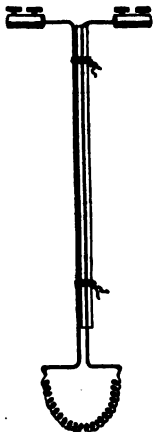


Fig. 330.

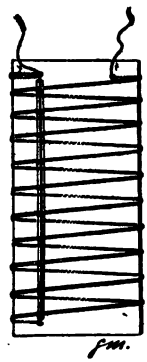


Fig. 331.

2. Abhängigkeit von der Stromstärke. Man wiederhole die Versuche für verschiedene Stromstärken und bestimme jedesmal die in einer Sekunde aufgenommene Wärmemenge. Dann zeichne man die Kurve, welche die Quadrate der Stromstärken als Abszissen, die in einer Sekunde in der Spirale entwickelten Wärmemengen als Ordinaten enthält. Welche Gestalt hat die Kurve? In welcher Beziehung stehen also Wärmemenge und Stromstärke? Wie lautet die Formel für die beiden gefundenen Beziehungen, wenn wir mit W die entwickelte Wärmemenge, mit J die Stromstärke, mit t die Zahl der Sekunden und mit k eine Konstante bezeichnen?

3. Abhängigkeit vom Widerstande. Man bestimme der Reihe nach für eine Spirale, zwei und mehr Spiralen von bekanntem Widerstande bei gleicher Stromstärke die in der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge und suche in ähnlicher Weise wie vorher die Beziehung zwischen Wärmemenge und Widerstand. Wie lautet die Formel für diese Beziehung?

Man fasse die vorher gefundenen Beziehungen in eine gemeinsame Formel, in die noch außer den vorher definierten Größen eine Konstante und der Widerstand eingeführt werden. In diese Formel, $W = Konst.\ J^2 w t$, führe man die elektromotorische Kraft $E = Jw$ ein. Welche Form nimmt die Formel an, wenn für Jt die Elektrizitätsmenge e eingeführt wird (148)?

4. Man wiederhole einen Versuch unter Einschaltung eines Ampère- und Voltmeters, messe die in einer beliebigen Anzahl von Sekunden entwickelte Wärmemenge in Kalorieen, die Stromstärke in Ampères, die elektromotorische Kraft in Volt und berechne daraus die in der Formel $W = Konst.\ EJt$ auftretende Konstante, d. h. die in 1 Sekunde von 1 Ampère bei 1 Volt entwickelte Wärmemenge, das „Wärmeäquivalent“ der Stromarbeit. Man stelle den Versuch für verschiedene Zeitdauern an und nehme aus den für das

Wärmeäquivalent der elektrischen Energie gefundenen Werten das Mittel.

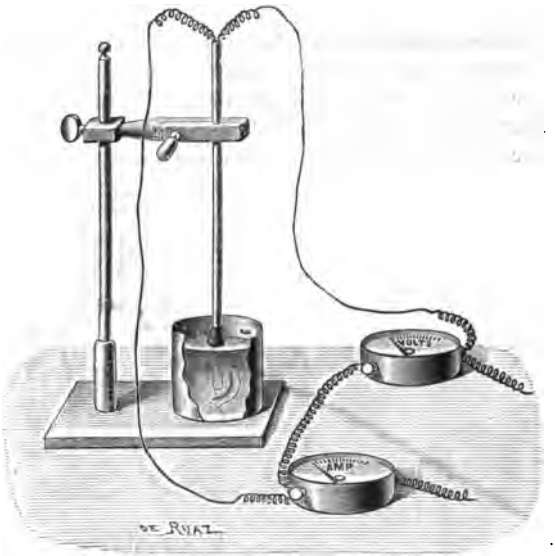


Fig. 332.

Man kann auch an Stelle der Spirale eine elektrische Glühlampe benutzen (Fig. 332).

203. Stromwärme in Elektrolyten. Spezifische Wärme. 1. Man gieße in ein hohes Glasgefäß etwa 500 ccm einer gesättigten Lösung von Kupfersulfat. Als Elektroden benutze man zwei kreisförmige Kupferplatten von nahezu gleichem Durchmesser wie das Gefäß; an jede löte man einen Kupferdraht (Fig. 333). Die eine Elektrode stelle man nahe unter die Oberfläche der Flüssigkeit, indem man den umgebogenen Draht über den Rand des Gefäßes legt. Die andere Elektrode lege man auf den Boden; den Draht führe man durch eine Glasröhre. Man schicke durch die Flüssigkeit einen Strom, dessen Richtung man, damit an den Elektroden keine Änderung der Konzentration stattfindet (192), fortwährend ändert, einige Minuten hindurch, bestimme aus Stromstärke und Klemmspannung die in irgendeiner Zeit aufgenommene Wärmemenge und berechne dann mit Hilfe der Anfangs- und Endtemperatur die spezifische Wärme der Flüssigkeit.

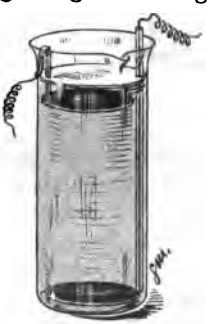


Fig. 333.

2. Man stelle sich eine Anzahl Spiralen (202) von genau gleichem Widerstand her, stelle sie in Bechergläser mit gleichen Gewichten verschiedener Flüssigkeiten und lasse durch sämtliche

Spiralen hintereinander einen Strom gehen. Wovon sind die mit einem empfindlichen Thermometer gemessenen Temperaturzunahmen abhängig?

204. Thermoelektrizität. 1. Man verbinde die Enden eines etwa 1 m langen und 1 mm dicken Kupferdrahtes mit einem Galvanometer von kleinem Widerstande, erwärme eine Stelle des Drahtes über einer Flamme (Fig. 334) und beobachte, ob das Galvanometer einen Ausschlag zeigt. — 2. Man wiederhole den

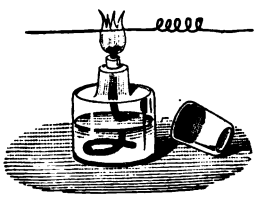


Fig. 334.

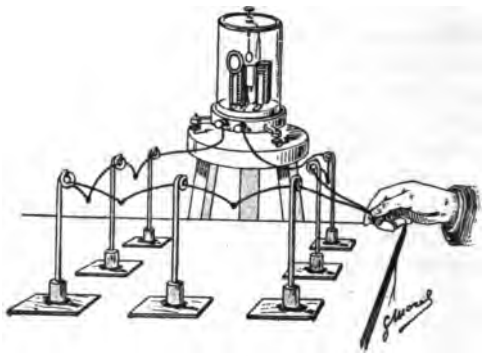


Fig. 335.

Versuch mit Draht aus gehärtetem Messing, den man bis zur *Rot*glut erhitzt. Dann glühe man den Draht auf einen Teil *seiner* Länge aus, verbinde ihn wieder mit dem Galvanometer und beobachte dieses, wenn man die Stelle zwischen dem ausgeglühten und dem nicht ausgeglühten Teil des Drahtes erwärmt. — 3. Man löte mehrere kurze Drähte aus verschiedenem Material hintereinander und verbinde die beiden letzten Enden mit dem Galvanometer; die Kette stütze man, indem man sie durch kleine Ösen führt, die man an den Enden vertikal gestellter Glasstäbchen gebogen hat (Fig. 335). Man erwärme zunächst die Kette an einer Stelle zwischen zwei Lötstellen und beobachte das Galvanometer. Dann erwärme man an einer Lötstelle und beobachte wieder. — 4. Man stelle einen aus Antimon und Kupfer zusammengelöteten, mit einem astatischen Nadelpaar (69, 4) versehenen Rahmen (Fig. 336) in den magnetischen Meridian und beobachte die Magnetnadel, wenn die eine Lötstelle erwärmt oder abgekühlt wird. Man bestimme aus der Ablenkungsrichtung der Nadel die Stromrichtung in diesem geschlossenen „thermoelektrischen Element (Thermoelement)". Verfügt man über ein zweites Element, in welchem Wismut an Kupfer gelötet ist, so vergleiche man die Stromrichtung in beiden Elementen.

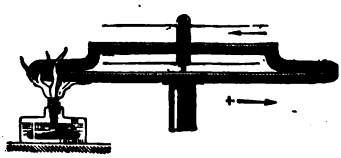


Fig. 336.

205. Thermoelektrische Elemente. Man verbinde die beiden Enden eines Eisendrahtes mit je einem Kupferdraht, indem man sie zusammendreht oder -lötet. Die Kupferdrähte führe man durch eine Glasröhre, damit die beiden Drähte sich nicht berühren. Man stelle die eine Lötstelle des thermoelektrischen Elementes in ein Glasgefäß, das man mit reinem Eis und destilliertem Wasser füllt, das andere in eine mit Wasser gefüllte Kochflasche (Fig. 337) und verbinde die freien Enden mit einem Spiegelgalvanometer unter Einschaltung eines passenden Widerstandes.

Man bestimme den Ausschlag des Galvanometers. Dann erhöhe man die Temperatur des Wassers von 10 zu 10 Grad und

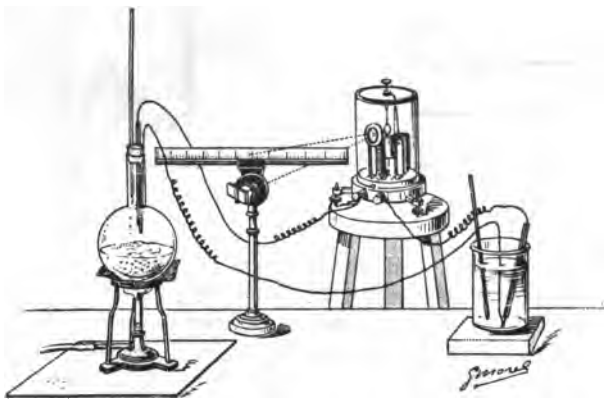


Fig. 337.

notiere die Ausschläge. Will man die Temperatur über 100° heiß werden lassen, so benutze man Chlorkalziumlösung. Man zeichne die Kurve, welche die Ausschläge als Funktion der Temperatur darstellt. In welcher Beziehung steht demnach die elektromotorische Kraft des Thermostromes zur Temperaturdifferenz der Lötstellen?

206. Bestimmung einer Temperatur durch ein Thermoelement. Man setze die eine Lötstelle des in der vorigen Nummer benutzten Thermoelementes in Wasser von Zimmertemperatur, die andere in ein Reagenzglas, das Naphthalin enthält, erwärme dieses bis zum Schmelzen und lasse erkalten; um gleichmäßige Temperaturverteilung zu erzielen, rühre man beständig um. Man beobachte die Ausschläge mit der Uhr. Wodurch gibt der Lichtzeiger zu erkennen, daß die Substanz ihren Erstarrungspunkt erreicht hat? Man erwärme, wenn das Naphthalin sich abgekühlt hat, von neuem und beobachte wieder den Gang des Lichtzeigers. Wodurch markiert sich der Schmelzpunkt? Man zeichne die Kurve, welche den Ausschlag als Funktion der Zeit darstellt. Dann lasse man die eine Lötstelle in Wasser von Zimmertemperatur stehen, halte die andere in Wasserdämpfe und beobachte den Ausschlag. Die Temperaturdifferenzen beider

Versuche verhalten sich wie die Ausschläge. Man bestimme aus dieser Beziehung die Temperaturdifferenz zwischen der Zimmertemperatur und der Temperatur des Schmelzpunktes und dann die letztere Temperatur.

207. Peltiers Phänomen. 1. Man löte einen Wismut- und einen Antimonstab mit je einem Ende aneinander und mache dann an der Lötstelle ein kleines Loch. Man fülle das kleine Loch mit Wasser, lege die ganzen Stäbe mit Ausnahme der Lötstelle in

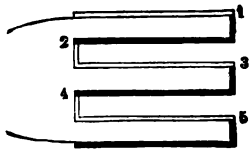


Fig. 338.

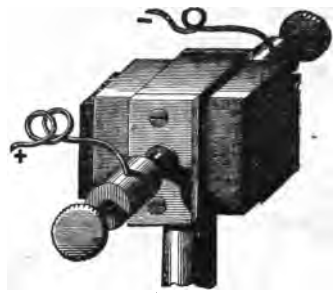


Fig. 339.

schmelzenden Schnee und stelle mittels eines Thermometers die Temperatur des Wassers der Lötstelle fest. Dann verbinde man die Stäbe so mit einem Element, daß der positive Strom vom Wismut zum Antimon geht. Welche Erscheinung zeigt sich an dem Wasser der Lötstelle; welche Temperatur kann man hier feststellen? Man kehre die Stromrichtung um! — 2. Man baue eine Thermosäule, in welcher Wismut- und Antimonstäbe so aneinander gelötet sind, daß, von der ersten Lötstelle an gezählt, die geradzahligen für sich und ebenso die ungeradzahligen untereinander liegen (Fig. 338). Alle mit isolierenden Zwischenschichten zu einem Bündel vereinigt sind in eine Fassung gebracht (Fig. 339), so daß die freien Enden der Stäbe mit zwei Klemmschrauben verbunden sind. Man setze die Säule zuerst mit einem Widerstand und einem Taster in den Stromkreis eines Elementes, lasse einige Sekunden lang einen Strom von etwa 1 Ampère durch die Thermosäule gehen, setze diese dann schnell mittels des Tasters (Fig. 340) mit einem Galvanometer in Verbindung und zeige die Entstehung eines in entgegengesetzter Richtung mit dem Hauptstrom laufenden Stromes. Man vergleiche diese Erscheinung mit der Polarisation in Elektrolyten (168 und 192, 3).

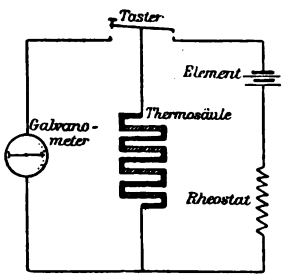


Fig. 340.

208. Abhängigkeit der Wärmestrahlung von der Temperatur. Man stelle einen Kupferklotz über einen Bunsenbrenner. Ein aus Eisen- und Kupferblech hergestelltes Thermoelement schalte man

mit einem Galvanometer zusammen; die eine Lötstelle bringe man in Wasser von Zimmertemperatur, die andere an die eine Seite des Kupferklotzes, indem man das Blech um den Klotz herumführt. Dieser Lötstelle stelle man eine Mellonische Thermosäule (vergl. 207, 2) so gegenüber, daß nur die eine Gruppe der Lötstellen der Säule von der Strahlung getroffen werden kann, und verbinde die Säule mit einem sehr empfindlichen Galvanoskop.

Man erhitze den Kupferklotz durch die Bunsenflamme, bestimme von Zeit zu Zeit mittels des einen Galvanoskopes die Temperatur der am Kupferklotz anliegenden erwärmten Lötstelle und mittels des anderen die von der Thermosäule aufgefangene Wärmestrahlung. Man zeichne die Kurve, welche diese Strahlung als Funktion der Temperatur darstellt.

---

209. Kraftfeld eines geradlinigen Stromes. 1. Man stelle einen Draht senkrecht auf (Fig. 341) und bringe ihn nebst einem

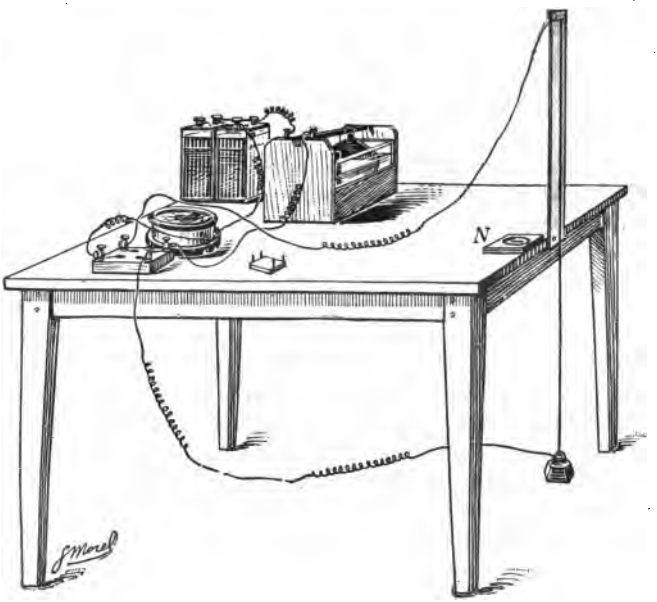


Fig. 341.

Kommutator, einem Ampèremeter und einem regulierbaren Widerstand (171) in einen Kreis von etwa 10 Ampères. In die Nähe des vertikalen Drahtes bringe man eine Magnetnadel. Man stelle die Nadel genau östlich oder westlich von dem Draht auf und bestimme die Schwingungsdauer der Nadel durch Beobachtung irgendeiner Zahl von Schwingungen, wenn kein Strom durch den Draht geht, also nur der Erdmagnetismus auf die Nadel wirkt. Dann schicke man

durch den Draht Ströme von verschiedener Stärke und bestimme jedesmal die Schwingungsdauer der Nadel. Man bestimme für jeden Versuch das Richtungsmoment der auf die Nadel wirkenden magnetischen Kräfte, indem man in der für das Pendel gültigen Schwingungsformel das Trägheitsmoment gleich Eins setzt, und zeichne die Kurve, welche die Richtungsmomente als Ordinaten und die Stromstärken als Abszissen enthält. Was für eine Kurve erhält man? Welche Größe stellt das von der Kurve auf der Ordinatenachse abgeschnittene Stück dar, wenn man berücksichtigt, daß in diesem Punkt der Kurve die Stromstärke gleich Null ist? Man ziehe durch das Koordinatenzentrum eine Parallele zu der Kurve, so daß man den nur vom Strom abhängigen Teil des Richtungsmomentes erhält. In welcher Beziehung steht also das Richtungsmoment der magnetisch wirkenden Kraft eines Stromes zur Stromstärke? — Man lasse eine Stromstärke ungeändert, bringe aber die Nadel östlich oder westlich von dem Draht in verschiedene Entfernungen von diesem, bestimme für jede Entfernung in derselben Weise wie vorher das Richtungsmoment und zeichne die Kurve, welche die Richtungsmomente als Ordinaten, die reziproken Werte der Entfernung als Abszissen enthält. Was für eine Kurve erhält man wieder? In welcher Beziehung steht also die magnetisch wirkende Kraft des Stromes zu der Entfernung der Magnetnadel von dem Stromleiter? — Man stelle die Nadel nördlich oder südlich vom Draht und prüfe die beiden gefundenen Gesetze nach der Methode der Ablenkung, indem man die vom Strom herrührende Kraft aus der Größe der Ablenkung bestimmt und dann die Kurven in derselben Weise wie vorher zeichnet. — Man spanne den Draht horizontal, in gleicher Höhe mit der Magnetnadel, und schicke durch ihn Ströme von verschiedener Stärke hindurch. Wie ändern sich die Schwingungsdauer und die Ablenkung der Magnetnadel? In welcher Richtung steht also die magnetisch wirkende Kraft des Stromes zur Richtung des letzteren?

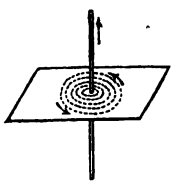


Fig. 342.

2. Man siebe auf ein Blatt Papier, durch welches ein Draht senkrecht hindurchgeht, Eisenfeilspäne und schicke durch den Draht einen starken Strom; welche Gestalt nehmen die Kraftlinien an (Fig. 342)?

210. Kraftfeld eines Kreisstromes. 1. Man befestige einen Holzreifen, um den eine kleine Anzahl von Windungen eines isolierten Drahtes gelegt sind, vertikal am Rande eines Tisches, so daß das Zentrum des Reifens in der Höhe des Tisches liegt (Fig. 343).

Man stelle eine Magnetnadel in das Zentrum des Kreises bei geöffnetem Strom und verschiebe den Tisch, bis der Kreis rechtwinklig zur Nadel steht. Dann bestimme man nach der Methode der Schwingungen in derselben Weise wie für den vertikal gespannten Draht die Beziehung zwischen dem Richtungsmoment der magnetisch

wirkenden Kraft des Stromes zu der Stromstärke. — Man wiederhole die Bestimmung dieser Beziehung nach der Methode der Ablenkung, indem man den Tisch so dreht, daß der Reifen in den magnetischen Meridian fällt. — Man ersetze den Reifen durch einen kleineren und bestimme nach einer der beiden Methoden für die gleiche Zahl der Windungen in beiden Reifen und für dieselbe Stromstärke das Richtungsmoment. In welcher Beziehung steht dasselbe zum Radius des Kreises? — Man benutze einen Reifen, auf dem sich Gruppen von Windungen befinden, z. B. eine einzelne Windung, eine Gruppe zu drei und zwei Gruppen zu je zwei Windungen. Man bestimme durch verschiedene Kombinationen dieser Gruppen für verschiedene Zahlen von Windungen bei gleicher Strom-

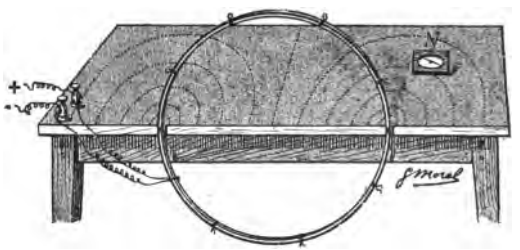


Fig. 343.

stärke das Richtungsmoment. In welcher Beziehung steht dasselbe zur Zahl der Windungen?

2. Man stelle eine kurze Nadel an eine Stelle des Tisches und beobachte die Ablenkung, wenn kein Strom durch den Draht geht. Dann schicke man den Strom hindurch und drehe den Tisch so, daß die Nadel ihre Stellung nicht ändert, ob ein Strom durch den Draht geht oder nicht. Welche Richtung müssen in diesem Falle die Kraftlinien des Stromes in dem betreffenden Punkt haben, verglichen mit der Richtung der Kraftlinien des Erdmagnetismus? Ist das Kraftfeld des Erdmagnetismus durch das des Stromes an diesem Punkt gestört oder nicht (78)? Man markiere auf dem Tisch die Nadelrichtung. Man wiederhole den Versuch unter jedesmaligem Drehen des Tisches für zahlreiche Stellungen der Nadel bei gleichbleibender Stromstärke und zeichne die Kraftlinien. Wie laufen die Linien in der Nähe des Stromes? Welche Gestalt hat die durch das Zentrum des Reifens gehende Kraftlinie des vom Strom herrührenden Feldes? — Wie werden die Kraftlinien, wenn man den Tisch nicht dreht, also eine Zusammensetzung des Kraftfeldes des Stromes und der Erde eintritt?

3. Man erzeuge die Kraftlinien eines kreisförmigen Leiters durch Eisenfeilstaub nach der aus Fig. 344 ersichtlichen Anordnung; doch lasse man durch den Draht einen so starken Strom gehen, daß das Kraftfeld der Erde bei der Bildung der Kraftlinien nicht in Betracht kommt. Man vergleiche die Kraftlinien mit dem eines Stab-

magnetes, dessen Querschnitt gleich dem Umfang des Reifens und dessen Länge gleich der Dicke des Reifens ist. Dieser Versuch zeigt also, daß ein kreisförmiger Stromleiter einer magnetischen Scheibe äquivalent ist.

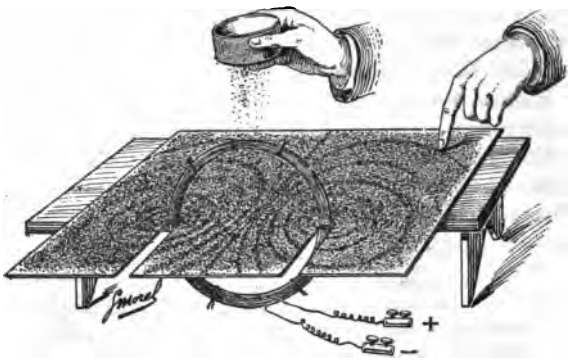


Fig. 344.

211. Kraftfeld eines Solenoides. — 1. Man ersetze bei der aus Fig. 133 ersichtlichen Anordnung den Magnet durch ein von einem Strom durchflossenes Solenoid, welches aus einer um einen Lampenzylinder gewickelten Spirale aus isolierten Kupferdraht besteht, und suche in derselben Weise wie bei den in Nr. 88 angestellten

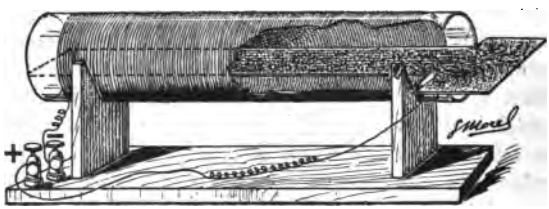


Fig. 345.

Versuchen die Beziehung des Richtungsmomentes zu dem Kubus der Entfernung des Solenoides von dem Magnetometer. Man bestimme für ein bestimmtes Solenoid bei gleichbleibender Entfernung für verschiedene Stromstärken und ferner für mehrere Solenoide, welche auf 1 cm Länge verschiedene Zahlen von Windungen haben, bei gleichbleibender Stromstärke und Entfernung das Richtungsmoment. Welche Beziehung besteht zwischen Richtungsmoment und erstens Stromstärke, zweitens Windungszahl? Man vereinige beide Resultate, indem man das Produkt aus Windungszahl auf 1 cm Länge und in Ampères gemessener Stromstärke als Ampèrewindungszahl einführt. — 2. Man schiebe eine mit Eisenfeilicht bestreute Platte aus einem nicht magnetisierbaren Stoff in ein Solenoid (Fig. 345), schicke durch dieses einen starken Strom, klopfe, damit die Eisenfeilspäne sich leichter ordnen

können, vorsichtig an die Platte und ziehe diese, nachdem man den Strom wieder geöffnet hat, vorsichtig heraus. Wie laufen die Kraftlinien im Innern des Solenoides? Man halte das Solenoid unter ein Blatt Kartonpapier und erzeuge auf diesem die äußeren Kraftlinien des Solenoides. Man vergleiche die letzte Erscheinung mit der entsprechenden eines Stabmagnetes. Welchen Schluß kann man aus der ersten Erscheinung auf den Verlauf der Kraftlinien eines Stabmagnetes, die aus einem Pol austreten und in den andern einmünden, innerhalb des Magnetes ziehen (Magnetisierungslinien)? Wie groß ist unter Benutzung des Begriffes der Intensität der Magnetisierung (93, s) die Zahl der Magnetisierungslinien? Welchen Teil der Kraftlinien kann man in Nr. 260, s als Magnetisierungslinien bezeichnen?

Die Einheit der Stromstärke 1 Ampère (159) ist so gewählt, daß, wenn man in Nr. 87 als Einheit der Länge 1 cm, als Einheit der Zeit 1 sec und als Einheit des Gewichtes, der Kraft, die Kraft wählt, welche der Masse 1 g die Beschleunigung 1 cm/sec^2 erteilt, und aus der so erhaltenen Einheit der Magnetismusmenge nach Nr. 92 die Einheit der Feldstärke, also die Zahl der Kraftlinien, welche durch 1 cm^2 hindurchgehen, bestimmt, die Zahl der Kraftlinien in einem Solenoid für jedes cm^2 Querschnitt gleich $\frac{4\pi}{10}$ oder abgerundet $^5/_4$ mal der Zahl der Ampèrewindungen ist.

212. Wirkung eines Magnetes auf einen Stromleiter. Geradliniger Leiter. 1. Man bringe in einem Brett, nahe dem einen Rande,

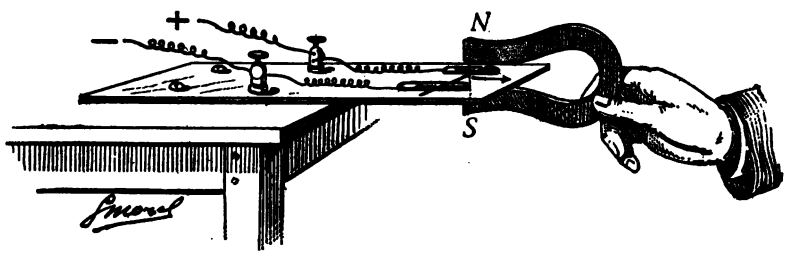


Fig. 346.

zwei rinnenförmige Vertiefungen an, schraube das Brett auf den Tisch und fülle die Rinnen so weit mit Quecksilber, daß sich ein quer über beide Rinnen gelegter Kupferdraht bewegen kann (Fig. 346). Man bringe den Draht zwischen die Pole eines starken Hufeisenmagnetes und beobachte die Bewegung des Drahtes, wenn er von einem Strom durchflossen wird. Man wechsele die Stromrichtung oder die Lage der Magnetpole und beobachte in jedem Falle die Bewegung des Drahtes. In welcher Richtung laufen die Kraftlinien zwischen den Magnetpolen? Wie ist die Kraft, welche den Draht bewegt, zu der Richtung der Kraftlinien des Magnetfeldes und der des Stromes gerichtet? Man untersuche die verschiedenen Fälle nach der sog.

„Linken-Hand-Regel“: Halten wir den Zeigefinger der linken Hand in die Richtung der Kraftlinien des Magnetfeldes, den Mittelfinger in die des Stromes, so wird der Stromträger in der Richtung des Daumens derselben Hand quer zur Kraftlinienrichtung vorwärts bewegt (Fig. 347); man halte den Rücken der Hand dem Gesichte zu-

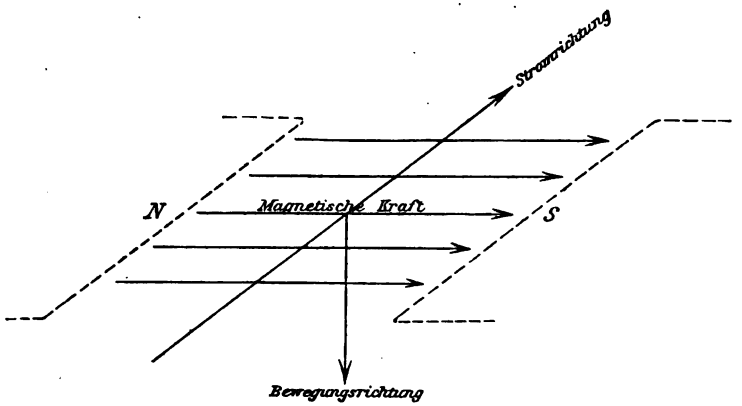


Fig. 347.

gekehrt. — Man halte den Magnet mit seiner Achse (68) paralell dem Draht. Wie verhält sich dieser?

2. Man lasse das untere Ende eines vertikal hängenden Kupferdrahtes in eine mit Quecksilber gefüllte Rinne tauchen (Fig. 348),

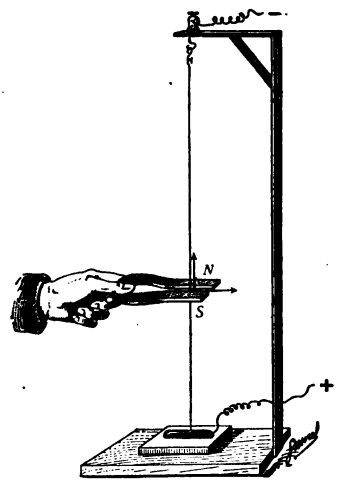


Fig. 348.

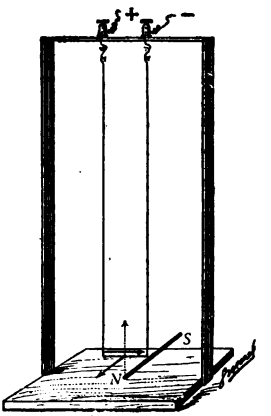


Fig. 349.

schicke durch den Draht einen Strom und bringe den Draht zwischen die Pole eines Hufeisenmagnetes. In welcher Richtung muß nach der Linken-Hand-Regel der Draht sich bewegen?

3. Man hänge einen ⊔-förmig gebogenen, längeren, feinen Kupferdraht mittels zweier kleiner **S**-Stücke auf, schicke durch ihn einen Strom und halte einen Stabmagnet rechtwinklig zu der durch den Draht bestimmten Ebene an sein unteres Ende (Fig. 349). In welcher Richtung bewegt sich der Stromleiter?

4. Man halte einen Hufeisenmagnet gegen eine Glühlampe (Fig. 350) und beobachte die Bewegung des Fadens?

5. Man halte ein schlaff herunterhängendes Metallband neben einen vertikal gestellten Magnet (Fig. 351) und beobachte das Ver-

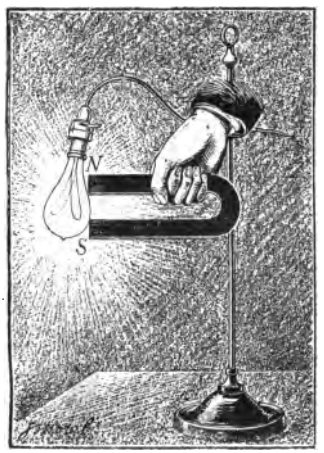


Fig. 350.

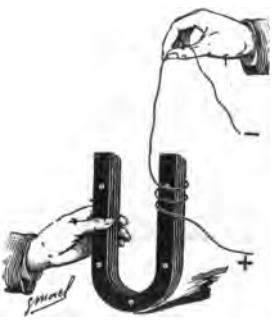


Fig. 351.

halten des Metallbandes, wenn durch dasselbe ein Strom geht. Man kommutiere (160) den Strom. Wie verhält sich das Band?

213. Wirkung eines Magnetes auf einen Stromleiter. Erdmagnetismus. 1. Man hänge einen rechteckig geformten Stromleiter mit Hilfe des Ampèreschen Gestelles drehbar auf (Fig. 352), bei

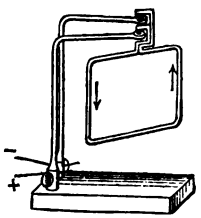


Fig. 352.

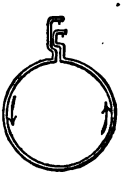


Fig. 353.

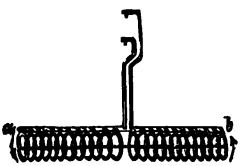


Fig. 354.

welchem auf einem Brett befestigte, oben rechtwinklig gebogene Messingsäulen an ihren Enden stählerne, mit Quecksilber gefüllte Näpfchen tragen, von denen das eine gerade unter dem anderen liegt. Der aus Kupfer oder Aluminium bestehende Stromleiter wird mittels

kleiner Stahlspitzen in die Quecksilbernäpfchen eingehängt, so daß er sich um eine vertikale Achse drehen kann. — Man ersetze den rechteckigen Stromleiter durch einen kreisförmigen (Fig. 353). Wie stellen sich die Stromleiter unter dem Einfluß des Erdmagnetismus ein? Man bestimme die Richtung des Stromes im Leiter. Dann kommutiere man und beobachte die neue Einstellung des Leiters.

2. Man hänge ein Solenoid mittels des Ampèreschen Gestelles (Fig. 354) oder nach der aus Fig. 355 ersichtlichen Anordnung auf. Wie stellt sich die Achse des Solenoides? Man vergleiche das Solenoid mit einer Deklinationsnadel. Man bestimme an dem Ende des Solenoides, das dem Nordpol der Magnetnadel entspricht, die Stromrichtung, indem man sich vor die Öffnung des Solenoides stellt und

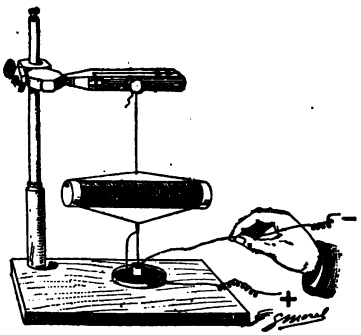


Fig. 355.

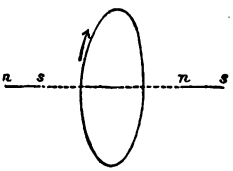


Fig. 356.

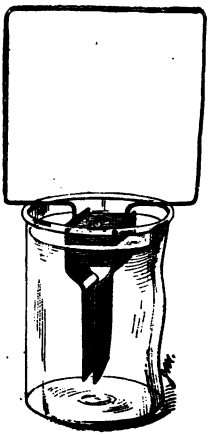


Fig. 357.

feststellt, ob das Solenoid im Sinne des Uhrzeigers oder im entgegengesetzten Sinne von einem Strome umflossen wird. Entsprechend verfahre man mit dem Südpol des Solenoides. In welchem Sinne kann man sich hiernach jeden Magnet von einem Strom umflossen denken, wenn man den Magnet mit seinem Nord- oder seinem Südpol vor sich hält? (Fig. 356).

3. Schwimmendes Element. Man nagele eine Kupfer- und eine amalgamierte Zinkplatte an die gegenüberliegenden Ränder eines leichten Holzbrettchens und biege die unten vorstehenden Teile der Platten so weit durch, daß die beiden Metallflächen etwa 1 cm auseinander stehen (Fig. 357). An das obere Ende löte man die Enden eines quadratisch oder ringförmig gebogenen Kupferdrahtes. Man lasse diesen Apparat in verdünnter Schwefelsäure schwimmen. Wie stellt sich der Drahtbügel zum magnetischen Meridian?

214. Wirkung eines Magnetes auf einen Stromleiter. Rotation. Man lasse einen um eine horizontale Achse drehbaren Kupferstern mit seinen Strahlen in eine zwischen den Polen eines wagerecht

liegenden Hufeisenmagnetes befindliche, mit Quecksilber gefüllte Rinne tauchen und schicke durch das Rad einen Strom, indem man die Zuleitungsdrähte mit dem das Rad tragenden metallenen Stativ bzw. dem Quecksilber leitend verbindet (Fig. 358). Man bestimme nach der im ersten Versuch angegebenen Regel, in welchem Sinne das Rad sich drehen muß, wenn der Strom in der einen oder in der dieser entgegengesetzten Richtung fließt.

Man bestimme ebenso die Bewegungsrichtung des beweglichen Stromleiters bei der aus Fig. 359 ersichtlichen Anordnung, bei welcher

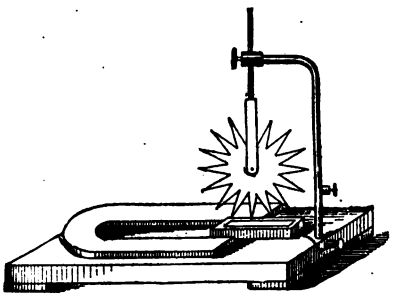


Fig. 358.

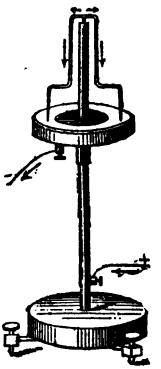


Fig. 359.

der Drahtbügel mittels stählerner Spitze auf dem einen Ende eines Stabmagnetes ruht, welcher oben ein kleines Quecksilbernäpfchen trägt, während die beiden Drahtenden in eine Quecksilberrinne tauchen.

215. Wirkung eines Magnetes auf einen Stromleiter. Maximum der Kraftlinienzahl. 1. Man bringe das in Nr. 213, 3 beschriebene schwimmende Element in ein weiteres Gefäß und nähere dann der Nordseite des Bügels den Südpol eines Stabmagnetes. Wie weit bewegt sich der Bügel? Man erinnere sich des Kraftlinienbildes eines wagerecht liegenden Stabmagnetes (76, 2). Wird die von dem Bügel umschlossene Fläche zu Beginn oder am Schluß des Versuches von der größeren Anzahl von Kraftlinien, Magnetisierungslinien (211, 2), durchsetzt? — Man wiederhole den Versuch, indem man den Magnet umdreht, so daß die Pole ihre Lage wechseln. Wie verhält sich der Drahtbügel, ehe er dieselbe Bewegung ausführt wie vorher? Man erkläre beide Erscheinungen auch aus dem in Nr. 210, 3 ausgeführten Versuch, nach welchem der Stromleiter einer magnetischen Scheibe äquivalent ist, bei welcher die Kraftlinien aus der einen Seite aus- und in die andere wieder einmünden.

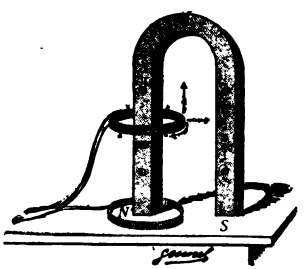


Fig. 360.

2. Man lege um den einen Pol eines vertikal gestellten Hufeisenmagnetes eine flache Spule von wenig Windungen, die man durch einen sehr dünnen und leichten Draht mit der Stromquelle verbindet (Fig. 360). Man bestimme die Stromrichtung, bei welcher die Spule in die Höhe geht. — Man vergleiche den Versuch mit dem vorher ausgeführten.

Der Versuch glückt selbst bei schwachen Strömen, wenn man den Magnet horizontal legt und die Spule an leichten Fäden vertikal hängen läßt.

216. Einwirkung zweier Stromleiter aufeinander. 1. Man nähere dem im Ampèreschen Gestelle beweglich aufgehängten Stromleiter einen gleichgroßen, aber unbeweglichen Draht, durch den mittels zweier auf dem Fußbrett befestigten Klemmschrauben ein Strom hindurchgeschickt werden kann (Fig. 361), und beobachte den beweglichen Draht, wenn in den beiden einander parallelen, vertikalen Drahtstücken beider Stromleiter der Strom in derselben Richtung fließt.

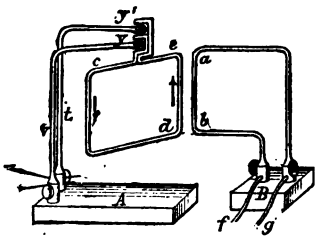


Fig. 361.

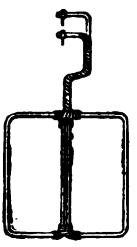


Fig. 362.

Wie verhält sich der bewegliche Draht, wenn er aus seiner eben gewonnenen (stabilen) Gleichgewichtslage herausgedreht *wird?* Man schalte mittels eines in den Stromkreis eingeschalteten *Kommutators* die Richtung des Stromes im festen Stromleiter um. Wie verhält sich der bewegliche Draht, und welche Gleichgewichtslage nimmt er schließlich ein? Welche Richtung haben die Ströme in den benachbarten parallelen Drahtstücken beider Stromleiter?

Welches Gesetz kann man demnach über die Anziehung oder Abstoßung gleich oder entgegengesetzt gerichteter, paralleler Ströme aufstellen?

Man halte einen von einem Strom durchflossenen Draht wagerecht unter den beweglichen Rahmen, so daß beide Stromrichtungen sich kreuzen. Wie stellt sich der bewegliche Draht ein, d. h. wie laufen die beiden Ströme in den einander benachbarten Drähten?

Um den Einfluß des Erdmagnetismus auf den beweglichen Stromkreis aufzuheben, kann man dem Rahmen die in Fig. 362 abgebildete Form geben, so daß der Strom in den äußeren vertikal laufenden Drahtteilen dieselbe Richtung hat und ebenso in den beiden mittleren, in welchen aber die Stromrichtung den anderen entgegengesetzt gerichtet ist. Wie will sich dann jeder der beiden Teilrahmen unter dem Einfluß des Erdmagnetismus einstellen (vgl. 213)? Man vergleiche diesen „astatischen" Leiter mit dem in Nr. 69, 4 benutzten astatischen Nadelpaar.

2. Man stelle sich zwei rechteckig geformte Drahtspulen her, von denen die eine, AB (Fig. 363), fest liegt, während die andere, CD, sich in ihr um eine vertikale Achse drehen kann. Die Drahtenden der beweglichen Spule lasse man in die beiden Hälften einer durch eine vertikale Scheidewand geteilten Quecksilberrinne tauchen, so daß die Drähte leicht über diese Scheidewände hinweggleiten können. Die Leitungsdrähte einer Stromquelle führe man zu den Klemmen f, g der äußeren Spule, die Drähte einer anderen Stromquelle in das Quecksilber. Man stelle beide Spulen rechtwinklig zueinander. Wie stellen sie sich ein? Man verfolge die Lage der Drahtenden der inneren Spule in bezug auf die beiden Quecksilberrinnen. Warum kann die Bewegung nicht aufhören, wenn die beiden Scheidewände in der Richtung des festen Rahmens liegen?

3. Man lege in eine mit gesättigter Kupfersulfatlösung einige cm hoch gefüllte Kristallisierschale einen Kupferdrahtring und in die

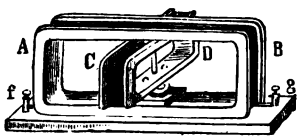


Fig. 363.

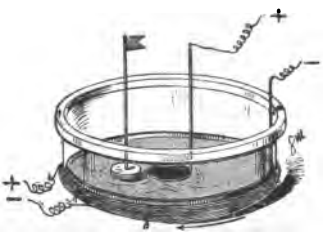


Fig. 364.

Mitte eine kleine Kupferplatte, an die rechtwinklig zu ihrer Ebene ein Draht angelötet ist, und verbinde beide Drähte mit einer Stromquelle (Fig. 364). Um die Schale lege man etwa 40 Windungen eines mit einer anderen Stromquelle verbundenen Kupferdrahtes. Man beobachte die Bewegung der Flüssigkeit mit Hilfe eines auf einem Kork angebrachten Fähnchens.

Man kann auch an Stelle des außen verlaufenden Stromes einen Pol eines starken Stabmagnetes benutzen, auf den man die Schale setzt (210, 3).

Man wiederhole den Versuch für verschiedene Stromstärken und beobachte die Unterschiede in der Geschwindigkeit der Bewegung. Man ändere die Stromrichtung in der äußeren oder der inneren Stromleitung oder setze die Schale auf den anderen Pol.

217. Elektrodynamometer. Man verfertige zunächst in derselben Weise wie für das Galvanometer mit beweglichem Rahmen (164) einen solchen Rahmen, nur gebe man ihm einen etwas größeren Umfang als jenem. An dem senkrecht stehenden Stab befestige man in der Mitte einen in gleicher Weise hergestellten Rahmen von kleinerer Größe, so daß er sich in dem größeren bewegen kann (Fig. 365).

Man bringe jeden Rahmen nebst einem Rheostaten und einem Ampèremeter oder einer Tangentenbussole in je einen Stromkreis.

Durch den einen Rahmen lasse man einen Strom von etwa 3 Ampères gehen; die Stärke des durch den anderen gehenden Stromes ändere man von 0 bis 5 Ampères. Man messe jedesmal die Ablenkung des beweglichen Rahmens. Man wiederhole diese Versuche, indem man die Stärke des anderen Stromes ändert. In welcher Beziehung steht die Ablenkung zum Produkt der in beiden Rahmen gemessenen Stromstärken? Man ändere die Richtung eines der Ströme. Wie ändert sich die Ablenkung nach Größe und Richtung? Man schicke denselben Strom durch beide Rahmen, ändere seine Stärke und messe jedesmal die Ablenkung. In welcher Beziehung steht die Ablenkung zur Stromstärke? Welchen Einfluß hat bei dieser Anordnung die Änderung der Stromrichtung auf die Richtung der Ablenkung?

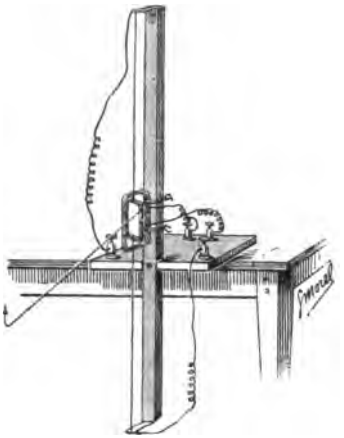


Fig. 365.

Um die Ablenkung des beweglichen Rahmens messen zu können, kann man an diesem wagerecht einen langen Zeiger aus feinem Aluminiumdraht befestigen und diesem gegenüber auf dem Tisch eine Skala aufstellen. Man kann auch oberhalb des Rahmens einen kleinen Spiegel anbringen und sich dann der Reflexion der Lichtstrahlen bedienen (163).

218. Das Wattmeter. Das Wattmeter ist ein Elektrodynamometer und dient dazu, den elektrischen Effekt, d. h. das Produkt

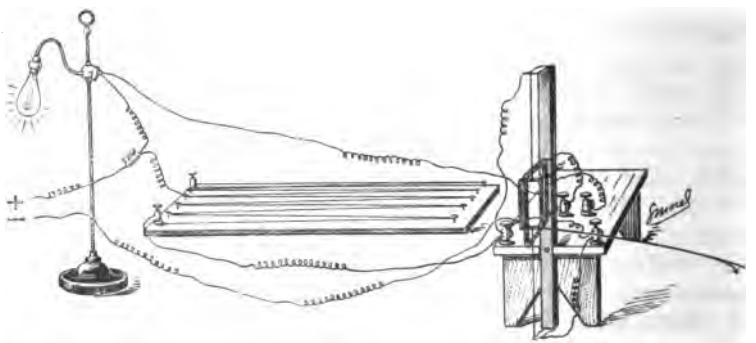


Fig. 366.

aus Stromstärke und Spannung, mit anderen Worten, die in der Sekunde zugeführte elektrische Energie bei Entnahme eines Stromes J aus einer Stromquelle von der Spannung E direkt mit Hilfe des Ausschlages zu messen. Der Strom J wird durch die feste Spule des Elektrodynamometers (eine Spule von geringem Widerstand) geleitet.

Die bewegliche Spule dagegen (von großem Widerstand) wird, wie beim Voltmeter, im Nebenschluß zum Hauptstrom an die Klemmen des den Strom verbrauchenden Apparates, z. B. einer Glühlampe, angelegt.

Man stelle sich ein Wattmeter her, dessen beweglicher Rahmen etwa 40 Windungen 0,5 mm dicken Drahtes, dessen fester Rahmen etwa 20 Windungen 2 mm dicken Drahtes enthält. In den Kreis des beweglichen Rahmens lege man noch den Widerstand eines 20 m langen und 0,2 mm dicken Manganindrahtes, den man im Zickzack auf ein größeres Brett gespannt hat (Fig. 366). Man kann nach der in Fig. 367 oder nach der in Fig. 368 gegebenen An-

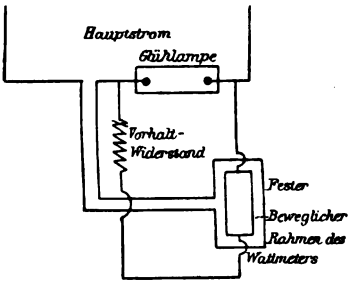


Fig. 367.

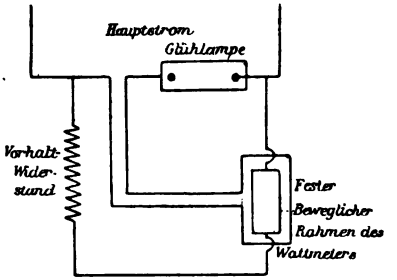


Fig. 368.

ordnung schalten. Bei der ersten Anordnung ist der durch den festen Rahmen gehende, mit einem Ampèremeter zu messende Strom gleich der Summe des durch den Verbrauchsapparat und des durch den beweglichen Rahmen gehenden Stromes. Bei der zweiten Anordnung gibt die Voltmeterspule die Summe der Spannungen im Verbrauchsapparat und im festen Rahmen; weil dessen Widerstand sehr klein ist im Vergleich zu dem des Verbrauchsapparates, so ist auch seine Spannung zu vernachlässigen.

1. Man lege in den Stromkreis der festen Rolle ein Ampèremeter, in den der beweglichen Rolle ein Voltmeter und messe für verschiedene Stromstärken die Ausschläge des Ampèremeters, Voltmeters und des beweglichen Rahmens. Man zeichne die Kurve, welche die Produkte aus der Stromstärke und der Spannung als Abszissen, die Tangenten der Ausschlagswinkel des Wattmeters als Ordinaten enthält. Was für eine Kurve erhält man? — Man eiche das Wattmeter, indem man mit Hilfe geeichter Ampèremeter und Voltmeter den Wert der Ausschläge des beweglichen Rahmens in Watts bestimmt. — 2. Man stelle eine in den Stromkreis des geeichten Wattmeters eingeschaltete Glühlampe in ein Kalorimeter, lasse den Strom einige Zeit durch die Lampe gehen und messe dann durch das Kalorimeter die von der Lampe in einer Sekunde abgegebene Wärmemenge, durch das Wattmeter den durch den Strom geleisteten Effekt. Man wiederhole den Versuch für verschiedene Stromstärken bei gleicher Beobachtungszeit und zeichne die Kurve, welche die

Watts als Abszissen, die in der Zeiteinheit abgegebenen Wärmemengen als Ordinaten enthält. Was für eine Kurve ergibt sich? In welcher Beziehung stehen also die in Betracht kommenden Größen? — 3. Man wiederhole sämtliche Versuche mit Wechselstrom. Ergeben sich dieselben Resultate?

219. Wirkung eines Stromes auf einen Magnet. 1. Man stecke eine Anzahl magnetischer und zum Schutze gegen die Flüssigkeit mit Schellack überzogener Stricknadeln in kreisförmiger An-

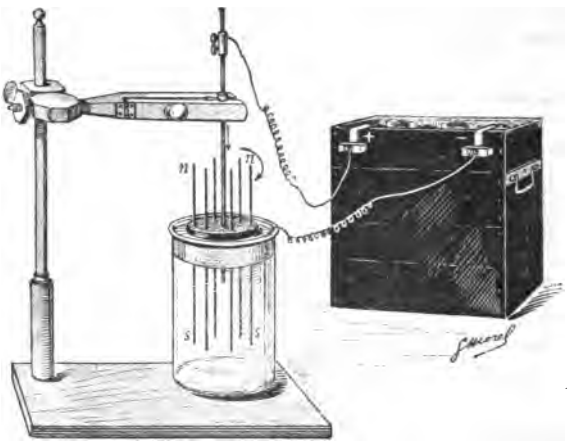


Fig. 369.

ordnung durch eine flache Korkscheibe, welcher man ein zentrales, weites Loch gibt für den Durchgang eines Kupferstabes. Man lege die Korkscheibe auf die Oberfläche eines mit fast gesättigter Kupfersulfatlösung gefüllten Gefäßes (Fig. 369), leite den Strom durch den Kupferstab in die Flüssigkeit und aus dieser mittels einer plattenförmigen oder ringförmigen Elektrode aus Kupfer zur Batterie zurück. Man beobachte die Bewegung des Ringes. Wie ändert sich die Größe und die Richtung dieser Bewegung, wenn der Strom nach Stärke und Richtung geändert wird?

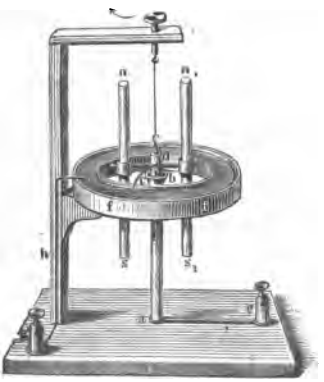


Fig. 370.

Man gieße, um die Oberflächenspannung zu vermindern und dadurch die Geschwindigkeit der Bewegung zu erhöhen, auf die Flüssigkeit einige Tropfen Äther oder Terpentinöl (I, 84).

2. Man befestige zwei parallele, vertikal gestellte Magnete ns und $n_1 s_1$ (Fig. 370) mit gleichnamigen Polen nach oben durch

Querstäbchen an einem Messingstück *d*, das, oben mittels eines Fadens leicht drehbar aufgehängt, unten mit einer Platinspitze in ein mit Quecksilber gefülltes Näpfchen *b* taucht, welches von einem Metallstäbchen *a b* getragen wird, das den Strom von der Klemmschraube *e* her zuführt. Ein von dem Metallstäbchen ausgehender horizontaler Draht *c* führt den Strom in eine Quecksilberrinne *f* weiter; in diese taucht ein anderer Draht, der durch das Metallstativ *h* mit der zweiten Klemmschraube in Verbindung steht.

Man beobachte die Bewegung der Magnete für verschiedene Stromrichtungen in dem Metallstäbchen *a b* (161).

3. Man bringe ein von einem Strom durchflossenes Solenoid mit wagerecht gehaltener Achse in die Nähe einer Magnetnadel und beobachte das Verhalten der Pole der Nadel, je nachdem sie dem einen oder dem anderen Ende der Solenoidachse näher sind. Man wiederhole diese Versuche, wenn mittels Kommutators die Stromrichtung im Solenoid umgekehrt wird. In jedem Versuche bestimme man die Stromrichtung an den Enden des Solenoides.

220. Messung der Kraft zwischen zwei magnetischen Feldern durch Wägung. 1. Wirkung eines Magnetes auf einen Stromleiter. An die Schale einer Wage (Archimedische Wage, oder Anordnung, wie sie I, Fig. 92 zeigt) hänge man einen Stabmagnet vertikal auf und bringe ihn in das Gleichgewicht. Unterhalb des Magnetpoles stelle man eine Drahtspule von bekannter Zahl von Windungen. Durch diese schicke man Ströme von gemessener Stärke. Die gegenseitige Einwirkung von Magnet und stromdurchflossener Spule bestimme man jedesmal durch die Gewichte, welche nötig sind, das durch das Schließen des Stromes gestörte Gleichgewicht wieder herzustellen. Welche Beziehung besteht zwischen der Stromstärke und der durch die Änderung der Belastung der Wage gemessenen Kraft zwischen Magnet und stromdurchflossener Spule? Welchen Einfluß hat die Umkehrung der Stromrichtung auf Größe und Richtung der Kraft?

Auf eine Anzahl Holzspulen gleicher Größe wickele man Draht derselben Sorte in verschiedener Windungszahl (211). Man stelle diese so unter den Magnet, daß die Entfernung zwischen Magnet und Spule, wenn die Wage im Gleichgewicht ist, für alle Spulen die gleiche ist, und messe die Kraft, welche der durch die Spule fließende Strom auf den Magnet ausübt, für die verschiedenen Spulen, wenn jedesmal ein Strom von gleicher Stärke benutzt wird. Welche Beziehung ergibt sich zwischen Kraft und Windungszahl?

Man bewickele zwei gleiche Spulen mit gleicher Windungszahl aus verschiedenem Draht, z. B. umsponnenem Kupferdraht und Manganindraht von gleichem Durchmesser, so daß der Widerstand beider Spulen ein verschiedener ist, und untersuche den Einfluß dieser Spulen auf den Magnet, wenn beide von einem gleichstarken Strom durchflossen werden.

Von welchen Größen der in einer bestimmten Entfernung vom Magnet stehenden Spule ist also ihre Einwirkung auf den Magnetpol abhängig? Welche Bedeutung hat der Begriff der Ampèrewindung (211, 1)?

Man hänge eine Spule, deren Zuleitungen recht leicht bewegliche Drähte sind, an Stelle des Magnetes an die Wage und bringe sie in das Gleichgewicht. Man schicke einen Strom durch sie; wie wird dadurch das Gleichgewicht geändert? Nach Öffnung des Stromes stelle man einen Magnetstab unter sie und schließe wieder den Strom; wie wird jetzt das Gleichgewicht geändert? Wieviel Kraftfelder müssen also zusammenkommen, damit eine Kraft entsteht? Welches sind die beiden Kraftfelder, welche die Kraft ergeben, die den Stein zur Erde zieht?

Man mache mit der an der Wage hängenden Spule dieselben Untersuchungen, wie eben mit der festen; findet man die dort gefundenen Gesetzmäßigkeiten bestätigt? Man fasse diese Gesetze zu einer Formel zusammen, indem man die Polstärke mit m, die Windungszahl mit n, die Stromstärke mit i, die Ampèrewindungen also mit in bezeichnet.

2. Die Stromwage. Auf Grund des soeben gefundenen Gesetzes, daß die Kraft zwischen einem Magnetpol und einer stromdurchflossenen Spule der Stromstärke proportional ist, kann man Instrumente zur Messung von Stromstärken entwerfen, die Stromwagen.

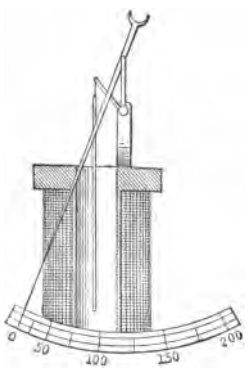


Fig. 371.

Die einfachsten Instrumente dieser Art sind die Federwagen. An einer vertikal hängenden Messingspirale befestige man einen kräftigen Magnet, der bis zur Hälfte in eine Spule hineinhängt. Ein an dem herausragenden Ende des Magnetes befestigter Zeiger spielt über einer zunächst noch nicht nummerierten Skala. Man schicke durch die Spule Ströme, deren Stärke man an einem Ampèremeter bestimmt, und eiche danach die Skala; auf Grund dieser Teilung kann man dann sehr bequem mit diesem Instrument Ströme messen. Es ist zu empfehlen, die Eichung von Zeit zu Zeit zu wiederholen.

Häufig ersetzt man die Feder durch einen Winkelhebel (Fig. 371).

3. Wirkung zweier Ströme aufeinander. Man hänge eine Drahtspule an eine Wage, bringe sie in das Gleichgewicht, stelle eine andere Spule darunter und schicke durch beide Ströme, die man durch Galvanometer mißt. Man ändere die Stromstärke sowohl in der hängenden als auch in der festen Spule und bestimme jedesmal die Kraft zwischen beiden. Welche Beziehung ergibt sich für die Abhängigkeit der Kraft von den Stromstärken?

Dann nehme man Spulen von verschiedener Windungszahl, sowohl an der Wage als auch feststehend, und wäge bei jedesmal

derselben Stromstärke die Kraft. Wie hängt die Kraft von den Windungszahlen ab?

Man fasse beide Gesetzmäßigkeiten zu einer Formel zusammen, indem man mit i und i' die beiden Stromstärken, mit n und n' die beiden Windungszahlen bezeichnet. Welche Beziehung zwischen Polstärke und Ampèrewindungszahl ergibt der Vergleich mit dem oben gefundenen Gesetz über die Einwirkung eines Stromes auf einen Pol?

4. Abhängigkeit vom Querschnitt der Spule. Man stelle sich eine Anzahl von Spulen gleicher Windungszahl, aber verschiedenem Querschnitt F her und prüfe an der Wage den Einfluß dieser Verschiedenheit, indem man sie alle bei gleicher Stromstärke auf dieselbe andere Spule oder denselben Magnetpol wirken läßt. Wie muß man die eben gefundene Beziehung zwischen einem Magnetpol und der Ampèrewindungszahl einer Spule unter Berücksichtigung des Einflusses der Fläche einer Windung erweitern?

Auf Grund der in Nr. 211 eingeführten Beziehung zwischen der Einheit der Magnetismusmenge und der Einheit der Stromstärke wird der Proportionalitätsfaktor dieser Beziehung gleich 1, so daß sie einfach lautet $Fni = m$. Ersetzt man hier die Magnetismusmenge durch die Zahl der von ihr ausgehenden, also über den ganzen Querschnitt verteilten Kraftlinien und führt diese noch mittels Division durch F auf die Zahl der durch die Flächeneinheit gehenden zurück, welche einfache Formel erhält man dann für die Beziehung zwischen dieser Kraftlinienzahl, also der Feldstärke, und der Ampèrewindungszahl?

5. Abhängigkeit von der Entfernung. Man ändere die Entfernung zwischen dem an der Wage hängenden Magnete bzw. Spule und der darunter liegenden Spule und wäge bei jedesmal derselben Stromstärke die Kraft zwischen beiden. Nimmt sie mit zunehmender Entfernung zu oder ab? Ein einfaches Gesetz ist nicht leicht zu erkennen, weil die Entfernung der einzelnen Teilchen der stromdurchflossenen Spule vom Magnetpol bzw. den Teilchen der anderen Spule sehr verschieden ist.

Setzt man zwei ganz kurze Leiterstückchen voraus, so ist die Kraft zwischen beiden wieder, wie schon oft, dem Quadrat der Entfernung beider voneinander umgekehrt proportional.

221. Wirkung eines Stromes auf unmagnetisches Eisen. 1. Man lege den nicht umsponnenen kupfernen Schließungsdraht einer Batterie in Eisenfeilspäne, schließe den Strom und nehme den Draht heraus; dann öffne man den Strom. Welche Erscheinungen beobachtet man? — 2. Man halte eine Spule, die aus zahlreichen, gegeneinander isolierten Windungen aus Kupferdraht besteht, vertikal, stelle unter die Spule auf den Tisch einen Stab aus weichem Eisen, so daß sein oberes Ende gerade in die Öffnung der Spule hineinragt. Man schicke einen Strom durch die Spule und beobachte das Verhalten des Eisenstabes. Man nähere dem unteren Ende des Stabes andere unmagnetische Gegenstände aus Eisen oder Stahl.

Dann halte man den Eisenstab fest, öffne den Strom und beobachte die vom Stab angezogenen Gegenstände. Man lasse den Eisenstab los und beobachte, ob er in der Spule bleibt. Man schließe und öffne den Strom wiederholt und beobachte das Verhalten des Eisenstabes. — 3. Man wiederhole die letzten Versuche mit einem unmagnetischen Stahlstab. Wie verhält sich dieser nach Unterbrechung des Stromes weichem Eisen gegenüber? (70). — 4. Man schicke durch die Windungen eines starken Elektromagnetes (Fig. 372) einen Strom und stelle durch eine Magnetnadel den Nord- und den Südpol des Elektromagnetes fest. In welchem Sinne (Zeiger einer Uhr) umfließt, wenn man die beiden Pole vor sich hält, der Strom den Nord-, in welcher den Südpol? (Fig. 373). — Man lasse den magnetisierenden Strom allmählich schwächer werden, ein anderes Mal plötzlich auf den Wert Null sinken. Nach jedem der beiden Versuche lasse man den Elektromagnet seinen Anker anziehen. In welchem Falle ist der remanente Magnetismus stärker? Man wieder-

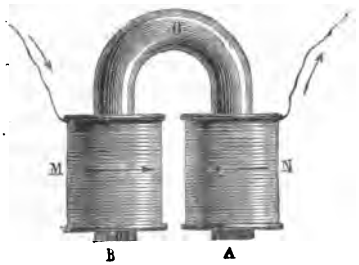


Fig. 372.

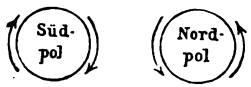


Fig. 373.

hole den letzten Versuch, wenn der Anker vorliegt, reiße nach Öffnung des Stromes den Anker plötzlich ab und versuche, ob er wieder angezogen wird. Um diese Erscheinungen des remanenten Magnetismus zu erklären, beachte man, daß das Eisen unmagnetisch ist, wenn die Molekularmagnete nicht geordnet sind. In welchen der letzten Versuche gehen die Molekularmagnete leichter aus der geordneten in die nicht geordnete Lage zurück (94)?

222. Magnetisierungskurven. Man stelle sich eine Magnetisierungsspirale (72, 3) aus einer Glasröhre und etwa 0,4 mm dünnem, übersponnenem Kupferdraht her. Diese Spirale bringe man nebst einem Ampèremeter, einem regulierbaren Widerstand, etwa zwei Flüssigkeitsrheostaten, und einem Kommutator in den Stromkreis einer kleinen Batterie (Fig. 374). Die Spirale lege man genau in die Ost-Westrichtung; vor die Mitte der Spirale, auf die Nordseite, stelle man eine Magnetnadel oder ein Magnetometer. Das Ampèremeter bringe man in so große Entfernung von der Magnetnadel, daß es keinen Einfluß auf sie ausübt. In die Magnetisierungsspirale schiebe man einen ausgezogenen und nachher genügend ausgeglühten Eisendraht. Hat man den Draht während des Ausglühens senkrecht zum magnetischen Meridian gehalten (94), so ist der Draht nahezu völlig unmagnetisch. Zeigt er, in die Spirale gebracht, doch noch eine Spur von Magnetismus, so schicke man durch die Spirale einen

schwachen Strom von solcher Richtung, daß die durch den Magnetismus des Drahtes hervorgerufene Ablenkung der Nadel verringert wird, und verstärke den Strom so weit, daß die Nadel, wenn der Strom unterbrochen wird, gar keinen Ausschlag zeigt.

Man schicke durch die Spirale einen schwachen Strom, den man allmählich, ohne ihn zu unterbrechen, verstärkt, und zeichne

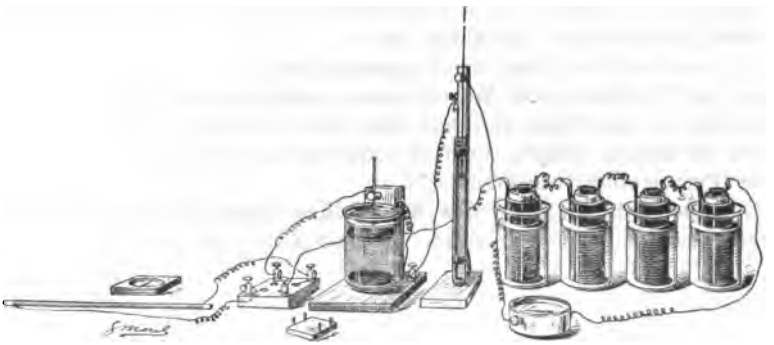


Fig. 374.

die Kurve, welche die Tangente der Ablenkung der Magnetnadel (83, 2) als Funktion der Stromstärke darstellt. Man beachte, wie die Kurve anfänglich ziemlich steil ansteigt, dann umbiegt und schließlich der Abszissenachse nahezu parallel läuft; das Eisen nähert sich der „Sättigung". — Man wiederhole den Versuch für Drähte aus Schmiedeeisen, Stahl, Gußeisen und Nickel, zeichne sämtliche Magnetisierungskurven in dasselbe Koordinatennetz und vergleiche sie miteinander. — Man wiederhole den Versuch mit dem Eisendraht, nachdem man ihn wieder frisch ausgeglüht hat, vermindere, wenn die Sättigung nahezu erreicht ist, die Stromstärke allmählich, bis sie den Wert Null erreicht hat. Welchen Verlauf nimmt die Entmagnetisierungskurve (Fig. 375)? Welche Bedeutung hat das von der Kurve abgeschnittene Stück der Ordinatenachse (70, 4)? Man kommutiere die Stromrichtung und lasse den Strom stärker werden, bis die Magnetnadel keinen Ausschlag zeigt; man beachte den Abschnitt der Abzsissenachse, durch welchen die Koerzitivkraft des Eisendrahtes dargestellt wird. Man lasse den Strom weiter anwachsen, bis das vorher beobachtete Maximum erreicht ist. Dann lasse man ihn allmählich abnehmen bis auf Null, kommutiere und lasse ihn wieder wachsen.

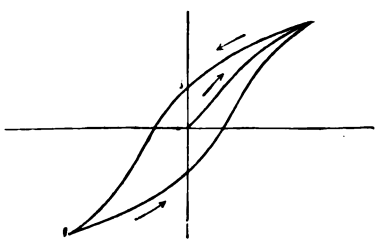


Fig. 375.

Man wiederhole den Versuch für verschiedene Werte der benutzten Maximalstärke des Stromes, zeichne die Kurven auf dasselbe

Koordinatenpapier und vergleiche die verschiedenen Schleifen miteinander. Welchen Einfluß hat also die Stromstärke auf die Koerzitivkraft des Eisens?

Man stelle die Versuche auch für Stahldrähte an und vergleiche die erhaltenen Kurven mit den vorigen.

Um den geringen Einfluß der Magnetisierungsspirale auf die Magnetnadel festzustellen, wiederhole man einen Versuch, wenn kein Draht in die Spirale geschoben ist.

Aus dem Verhältnis der Tangenten der Ausschläge der Magnetnadel bei Benutzung der Magnetisierungsspirale allein, oder wenn ein Eisenstab in ihr liegt, berechne man das Verhältnis der Kraftlinienzahl in beiden Fällen, welches man als magnetische Leitfähigkeit oder Permeabilität bezeichnet (77, 1).

223. Untersuchung des Kraftfeldes eines Hufeisenmagnetes. Man wickle auf eine Holzleiste in ihrer Längsrichtung eine größere

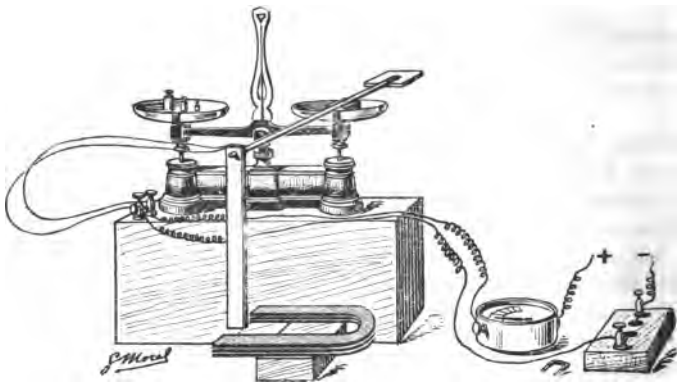


Fig. 376.

Anzahl von Windungen sehr feinen Kupferdrahtes, befestige die Leiste rechtwinklig am Ende eines Holzstieles, der am andern Ende ein kleines Brettchen als Gegengewicht trägt, und bringe auch in der Mitte des Stieles ein Brett an, um das Ganze bequem so auf eine Wagschale einer Robervalschen Wage (I, 20) legen zu können, daß die Drahtspule senkrecht seitwärts der Wage steht (Fig. 376). Man stelle die Wage auf eine etwas hohe Unterlage, damit das untere Ende der Spule in die Ebene eines wagerecht liegenden Hufeisenmagnetes gebracht werden kann. Die Leitungsdrähte der Spule führe man zu zwei auf der Unterlage befestigten Klemmschrauben. Man bringe die Wage ins Gleichgewicht und schicke durch die Spirale den Strom einer Batterie unter Einschaltung eines Ampèremeters und eines Unterbrechers.

1. Man stelle die Ebene der Drahtwindungen der Spule parallel zur Längsrichtung des Magnetes, bringe durch horizontale Verschiebung des Magnetes das untere Ende der Spule in verschiedene Stellen des

Kraftfeldes des Magnetes und bestimme jedesmal mit Hilfe der Wage die zwischen dem Magnet und der vom Strom durchflossenen Spule wirkende Kraft, welche die Spule herunterzieht. Insbesondere führe man das Ende der Spule in der Längsrichtung des Magnetes entlang. Man zeichne die Kurve, welche die Kraft als Funktion der vom Indifferenzpunkt gemessenen Entfernung darstellt. — 2. Man stelle das Ende der Spule zwischen beide Pole des Magnetes und drehe dann den Magnet in seiner horizontalen Ebene um die Spule als Achse, so daß die Ebene der Drahtwindungen nicht mehr parallel zur Längsrichtung des Magnetes bleibt. Man zeichne die Kurve, welche die durch die Wage gemessene Kraft als Funktion des Sinus des Winkels darstellt, um den die Magnetachse aus der anfänglichen Lage herausgedreht worden ist. Was für eine Kurve erhält man? In welcher Beziehung steht demnach die gemessene Kraft zur Normalkomponente des Magnetfeldes. — 3. Man lege vor die Pole einen Anker, doch so, daß zwischen den Polen und dem Anker je ein kleines Holzscheibchen liegt, die in der Mitte einander so nahe kommen, daß die Spule sich zwischen ihnen gerade noch in der Längsrichtung des Magnetes bewegen kann; die Ebene der Windungen falle wieder in diese Richtung. Man führe die Spule wieder in der Längsrichtung. An welcher Stelle herrscht jetzt die größte Kraft, mit welcher die Spule heruntergezogen wird? Man vergleiche den beobachteten Wert mit dem im ersten Versuch gefundenen größten Wert der Kraft. Man entferne die Holzscheibchen, lege den Anker unmittelbar vor die Pole und suche wieder die Stelle, an welcher die größte Kraft herrscht. Ist diese größer oder kleiner als in den vorhergehenden Versuchen? — 4. Man benutze an Stelle des Stahlmagnetes einen Elektromagnet, lege wieder zwischen Pole und Anker dünne Holzscheibchen und ermittele die zwischen ihnen herrschende Kraft für verschiedene Stärken des magnetisierenden Stromes. In welcher Beziehung steht die durch die Wage gemessene Kraft zu der Stärke dieses Stromes? — 5. Man wiederhole den letzten Versuch für verschiedene Stärken der Holzscheiben bei gleicher Stromstärke und zeichne die Kurve, welche die durch die Wage gemessene Kraft als Funktion der reziproken Werte der Dicke der Holzscheibchen darstellt.

224. Para- und Diamagnetismus. 1. Man bringe zwischen die zugespitzten Pole oder mit zugespitzten „Halbankern" versehenen Pole eines starken Elektromagnetes (Fig. 377) an Seidenfäden wagerecht hängende kleine Stäbchen aus Eisen, Nickel, Kobalt, Platin, Wismut, Antimon, Zink oder Blei, so daß sie, wenn durch die Windungen des Elektromagnetes kein Strom geht, weder die axiale Lage *NS*, noch die äquatoriale Lage *a b* einnehmen. Dann schließe man den Strom. Welche Stäbchen stellen sich axial (paramagnetische Stoffe), welche äquatorial (diamagnetische Stoffe)? — 2. Man bringe zwischen die Pole ein sehr kleines, dünnwandiges, mit einer verdünnten Lösung von Eisenchlorid gefülltes Glasröhrchen, das wie jene Stäbchen an einem in seiner Mitte befestigten Seidenfaden wagerecht hängt. Welche

Lage nimmt das Röhrchen ein? Man wiederhole den Versuch, indem man das Röhrchen in ein mit einer stärkeren Eisenchloridlösung gefülltes Glasgefäß hängen läßt. Wie stellt sich das Röhrchen jetzt? Welchen Einfluß hat demnach das die Körper im Magnetfeld umgebende Mittel auf die Lage dieser Körper? — 3. Man bringe an Seidenfäden hängende kleine Kugeln aus den im ersten Versuch benutzten Stoffen zwischen die Pole. Welche Kugeln werden seitwärts herausgetrieben, sind also schwächer magnetisch als die sie umgebende Luft? — 4. Man bringe eine Kerzenflamme zwischen die Pole. Sind die Flammengase paramagnetisch oder diamagnetisch gegen die umgebende Luft?

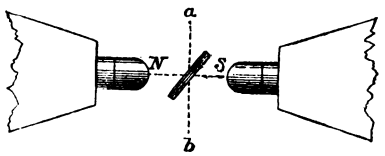


Fig. 377.

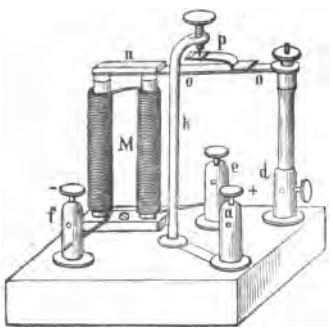


Fig. 378.

225. Der magnetische Hammer dient als Vorrichtung zur selbsttätigen Unterbrechung und Wiederschließung des Stromes (Fig. 378). Auf die Stahlfeder *on* ist bei *n* ein Anker aus weichem Eisen genietet und näher dem Drehpunkt ein Messingbügel aufgelötet, welcher eine kleine Platinplatte *p* trägt, gegen die die Platinspitze einer Stellschraube liegt. Der Strom tritt durch die Klemme *a* in den Apparat ein, fließt durch *bpo* nach *d*, von hier aus in die Leitung, in welcher der Strom unterbrochen werden soll, und kehrt in *e* wieder zurück, um dann um den Elektromagnet *M* zu fließen und durch *f* wieder zur Batterie zurückzukehren. Sobald der Strom den Elektromagnet erregt, wird der Anker *n* angezogen, der Kontakt zwischen Platinblech *p* und der darüber stehenden Spitze aufgehoben, der Strom also unterbrochen, so daß der Magnet den Anker wieder losläßt und die Feder gegen die Spitze zurückschnellt und so den Strom von neuem schließt.

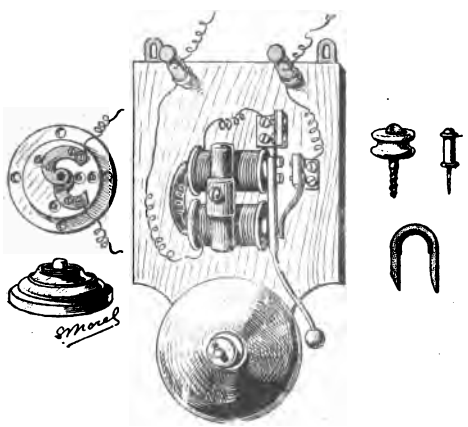


Fig. 379.

226. Die elektrische Klingel besteht aus einem magnetischen Hammer, dessen Feder an ihrem freien Ende einen Klöppel besitzt, der bei der Bewegung der Feder an eine Glocke schlägt

(Fig. 379). Man richte eine Klingelleitung nach der aus Fig. 380 ersichtlichen Anordnung her, unter Benutzung einer Stromquelle von zwei bis drei Leclanché-Elementen. Wie muß man die Drähte mit

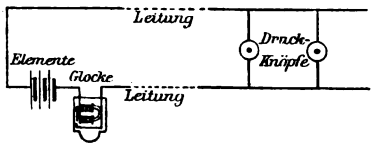


Fig. 380.

dem Elektromagnet verbinden, wenn die Klingel beim Stromschluß nur einmal ertönen soll?

227. Elektrische Telegraphie. Man entferne die Glocke und den Klöppel einer elektrischen Klingel und befestige an der Feder

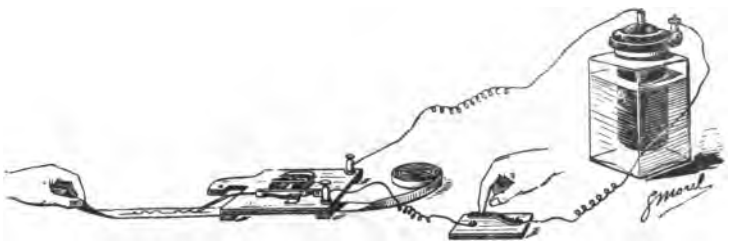


Fig. 381.

des Hammers eine kleine Federpose, deren Ende man soweit umbiegt, daß die Spitze auf einen unter ihr liegenden Papierstreifen drücken kann (Fig. 381). Man setze den Apparat nebst einem ein-

Morsealphabet.

A	·−	N	−·		
B	−···	O	−−−		
C	−·−·	P	·−−·		
D	−··	Q	−−·−	0	−−−−−
E	·	R	·−·	1	·−−−−
F	··−·	S	···	2	··−−−
G	−−·	T	−	3	···−−
H	····	U	··−	4	····−
I	··	V	···−	5	·····
J	·−−−	W	·−−	6	−····
K	−·−	X	−··−	7	−−···
L	·−··	Y	−·−−	8	−−−··
M	−−	Z	−−··	9	−−−−·

Fig. 382.

fachen Unterbrecher, dessen Konstruktion aus der Figur ersichtlich ist, in den Stromkreis eines Elementes. Man schwärze die Spitze der Federpose mit Tinte und ziehe, während man den Strom abwechselnd schließt und öffnet, einen Papierstreifen unter der Federpose langsam fort; die auf dem Papierstreifen entstehenden Zeichen ändere man dadurch ab, daß man auf den Unterbrecher kürzere oder längere Zeit drückt. Man telegraphiere mit Hilfe des Modells, indem man die in der Telegraphie üblichen Zeichen (Fig. 382) benutzt.

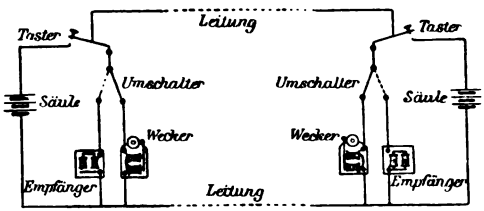


Fig. 383.

Will man eine telegraphische Verbindung zwischen zwei Räumen der Wohnung herstellen, so verfahre man nach der in Fig. 383 ge-

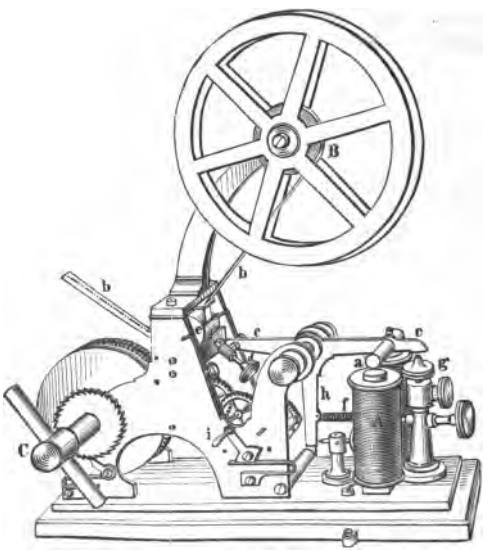


Fig. 384.

gebenen Anordnung. Man bringe in jeder Station außer dem Element, dem Unterbrecher (Taster; 169) und dem Schreiber des Telegraphen (Fig. 384) noch eine elektrische Klingel, den Wecker, und einen Stromwender an. Wie müssen die Kommutatoren jeder Station mit den übrigen Apparaten verbunden sein, damit von der einen

Station nach der andern ein Klingelzeichen gegeben werden kann, daß telegraphiert werden soll?

228. Die elektrische Differentiallampe, schematisch skizziert in Fig. 385, besitzt zwecks Regulierung des Abstandes der beiden Kohlestäbchen eine Spule aus dickem und eine andere aus dünnem Draht, in welche ein Eisenkern, der an dem einen Ende eines zweiarmigen Hebels sitzt, während am andern Ende die eine Kohle befestigt ist, je nach dem zwischen den Kohlespitzen herrschenden Widerstande abwechselnd hineingezogen wird. Man lasse die Kohlen sich berühren, schließe den Strom und beobachte den Eisenkern. Welche Spule zieht den Eisenkern in sich hinein, wenn der Abstand der beiden Kohlespitzen und damit der Widerstand der die Verbindung zwischen ihnen herstellenden glühenden Kohleteilchen zu groß geworden ist (174)? Wie ändert sich dadurch der Abstand der Kohlespitzen?

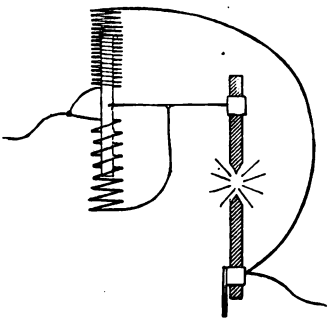


Fig. 385.

---

229. Voltainduktion. Man lege eine ringförmige Drahtspule in eine andere von ein wenig größerem Durchmesser. Die eine Spule, die

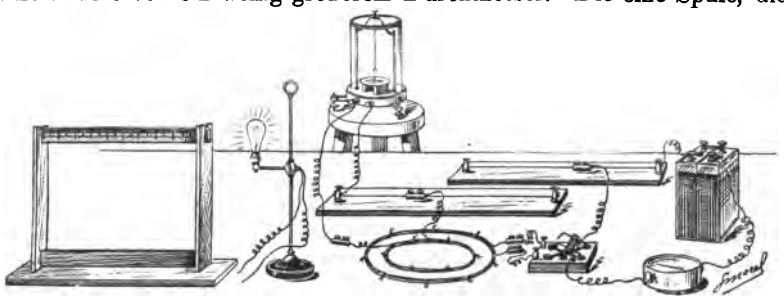


Fig. 386.

primäre, bringe man nebst einem Ampèremeter, einem Stromwender und einem veränderlichen Widerstand, etwa einem auf einem Brett ausgespannten Draht mit Gleitkontakt, in den Kreis einer Stromquelle (Fig. 386); man stelle die Stellung des Stromwenders fest, bei welcher der Strom die Spule in der einen oder andern Richtung durchläuft (161). Die zweite, sekundäre, Spule setze man nebst einem ballistischen (163) Galvanometer und einem veränderlichen Widerstand zunächst auch in den Kreis einer Stromquelle; man stelle die Richtung des Ausschlages der Galvanometernadel fest, wenn die Spule in der einen oder andern Richtung von einem Strom durch-

flossen ist. Dann verbinde man die sekundäre Rolle unter Einschaltung des Widerstandes direkt mit dem Galvanometer.

1. Man schließe und öffne den Strom der primären Rolle und beobachte die Galvanometernadel in dem Moment des Schließens und Öffnens und, während der Strom dauernd geschlossen ist. In welchen Augenblicken wird durch den primären, den induzierenden, Strom ein sekundärer Strom, ein Induktionsstrom, „induziert"? Man vergleiche die Richtungen des sekundären Schließungs- und Öffnungsstromes miteinander. Man ändere die Richtung des Hauptstromes und wiederhole beide Versuche. In welcher Beziehung stehen die Richtungen des sekundären Schließungs- und Öffnungsstromes zur Richtung des Hauptstromes?

2. Man lasse den Hauptstrom geschlossen, entferne eine der Spulen schnell von der andern oder nähere sie ihr und beobachte die Nadel in den Momenten der Entfernung oder Annäherung. Man ändere die Richtung des Hauptstromes und wiederhole beide Versuche. In welcher Beziehung stehen die Richtungen der bei der Entfernung und Annäherung der einen Spule entstehenden sekundären Ströme zueinander und zur Richtung des Hauptstromes? Wie ändert sich die beobachtete Erscheinung, wenn beide Spulen in ihrer gegenseitigen Lage unverändert gelassen und beide gleichzeitig bewegt werden?

3. Man lasse den Hauptstrom geschlossen und beide Spulen in ihrer Lage, verstärke oder schwäche den Hauptstrom mit Hilfe des veränderlichen Widerstandes, beobachte jedesmal die Magnetnadel und vergleiche wieder die Richtung der sekundären Ströme miteinander und mit der Richtung des Hauptstromes. Man nehme die Änderung des Widerstandes einmal recht langsam, dann dieselbe Änderung recht schnell vor. Wie ist der Ausschlag des Galvanometers von der Geschwindigkeit der Änderung abhängig?

Welche der drei Änderungen aus den Paaren: Öffnen und Schließen, Nähern und Entfernen, Vermehren und Vermindern des Widerstandes des primären Stromes ergeben bei gleicher Richtung des primären Stromes auch die gleiche Richtung des sekundären? Bei welcher von ihnen erhält man, wenn sonst alles in beiden Kreisen dasselbe ist, den stärksten Induktionsstrom? Wie ist in diesem Falle die Geschwindigkeit der Änderung im primären Kreise verglichen mit der in den beiden anderen Fällen? Wie stimmt dieses Gesetz mit dem soeben in bezug auf den Einfluß der Änderungsgeschwindigkeit des Widerstandes gefundenen?

4. Da sich das Schließen des primären Kreises als die am leichtesten in jedesmal derselben Zeit auszuführende Änderung erwiesen hat, so führe man dieses aus, wenn im Hauptstrom ein möglichst geringer Widerstand eingeschaltet ist, und beobachte den Ausschlag des Galvanometers, wenn man dem veränderlichen Widerstand des sekundären Kreises verschiedene Werte gibt. Welche Abhängigkeit der Stromstärke vom Widerstande ergeben diese Beobachtungen, wenn man sich der Abhängigkeit der Stärke des aus

einem galvanischen Elemente kommenden Stromes vom Widerstande erinnert (172)? Ist also durch die Induktion der beiden Spulen aufeinander die Intensität oder die elektromotorische Kraft des sekundären Stromes bedingt?

5. Man gebe dem veränderlichen Widerstand im primären Kreise verschiedene Werte und beobachtete jedesmal den Ausschlag des Galvanometers beim Schließen des Hauptstromes. In welcher Beziehung steht dieser zur Stärke des Hauptstromes? Da zum Schließen des Unterbrechers jedesmal dieselbe Zeit gebraucht worden ist, so ist die Änderungsgeschwindigkeit in den Fällen, wo der primäre Strom die größere Intensität erreicht, ebenfalls größer als in den anderen, folglich müßte nach den früheren Beobachtungen in diesen

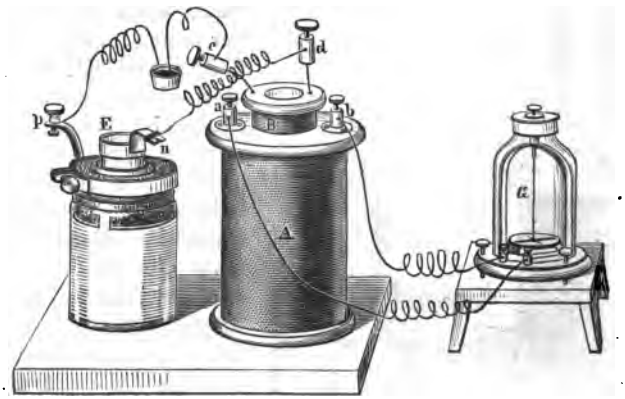


Fig. 387.

Fällen auch die größere Intensität des Induktionsstromes erzielt werden. Ergeben das die Beobachtungen?

Man bezeichne die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes mit e, die Geschwindigkeit der Änderung der Intensität des Hauptstromes mit v, welche Beziehung zwischen diesen beiden Größen haben alle bisherigen Versuche über Induktion ergeben? Den Proportionalitätsfaktor dieser Gleichung nennt man den Koeffizienten der gegenseitigen Induktion der beiden Spulen oder kurz Induktionskoeffizienten.

Welcher der beiden Rollen wird man auf Grund dieser Beziehung wenige Windungen aus dickem Draht, welcher viele Windungen aus dünnem Draht geben, wenn man Induktionsströme von großer Spannung erhalten will? — Sind in der benutzten Anordnung die Induktionsströme zu schwach, so kann man die Versuche auch mit zwei Spulen anstellen, von denen die eine in die andere geschoben werden kann. Auf der größeren Spule A (Fig. 387) ist mit Seide umsponnener Draht gewickelt, dessen Enden in die Klemmschrauben a und b münden, mit denen die Windungen eines Galvanometers G verbunden sind. Die kleinere Spule B wird mittels der Klemmschrauben c und d mit den Polen n und p eines galvanischen Elementes E verbunden.

Das Schließen und Öffnen des Hauptstromes kann durch ein Quecksilbernäpfchen bewirkt werden. Um in der Nebenrolle eine rasche Aufeinanderfolge abwechselnd entgegengesetzt gerichteter Induktionsströme, einen „Wechselstrom" hervorzurufen, schalte man in den Hauptstrom einen Wagnerschen Hammer ein. Welchen Einfluß muß die Änderung der Geschwindigkeit der Unterbrechung auf die in gleichen Zeiten erfolgende Zahl der Wechselströme haben?

230. Magnetinduktion. 1. Man verbinde eine Drahtspule *A* (Fig. 388) mit einem entfernt aufgestellten Galvanometer *G*, nachdem man festgestellt hat, in welcher Richtung die Spule von einem Strom durchflossen wird, wenn die Nadel nach der einen oder der anderen Seite ausschlägt. Man schiebe einen Magnet recht schnell in die Spule hinein, ziehe ihn dann schnell heraus und vergleiche die Richtungen der induzierten Ströme miteinander. Dann wiederhole man die beiden Versuche, nachdem man den Magnetstab umgedreht hat, so daß er mit einem anderen *Pol* in die Spule hineintritt. Man stelle die Richtung der Ströme fest, von welchen man den Magnet umkreist denken kann 213, 2). In welcher Beziehung stehen diese Richtungen zu den Richtungen der induzierten Ströme? Man bewege einmal den Magnet langsam, bei einem anderen Versuche schnell; in welchem Falle erhält man den größeren Ausschlag? Man vergleiche das Resultat mit dem in 229 erhaltenen. — Man kann diese Versuche auch so anstellen, daß man einen weichen Eisenstab in die Spule stellt und dann diesen Stab durch Annäherung und Entfernung eines Magnetes abwechselnd magnetisch und unmagnetisch macht.

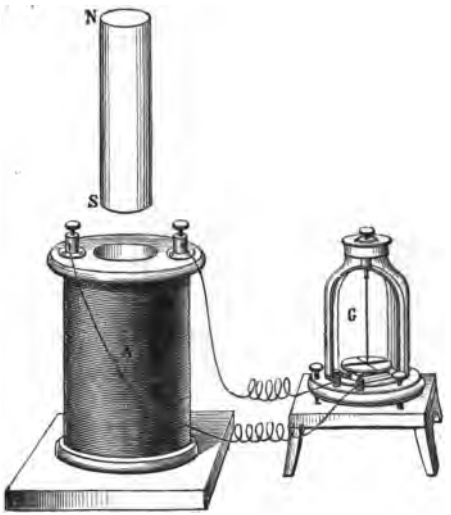


Fig. 388.

Man denke sich auf Grund des letzten Resultates in 220, 4 jede stromdurchflossene Spule durch ein magnetisches Kraftfeld ersetzt und somit jede Änderung des primären Stromes durch eine Änderung eines magnetischen Kraftfeldes; in welcher Beziehung stehen dann die eben angestellten Versuche zu den in der vorigen Nummer angestellten?

2. Man verbinde die Klemmen des Galvanometers mit beweglichem Rahmen mit den Klemmen eines anderen (ballistischen) Galvanometers, unter Einschaltung eines veränderlichen Widerstandes, etwa eines auf einem Brett ausgespannten, mit Gleitkontakt versehenen Manganindrahtes (Fig. 389). Man bewege den beweglichen Rahmen schnell zwischen den Polen des Hufeisenmagnetes und be-

obachte die Richtung, nach welcher der Ausschlag der Magnetnadel erfolgt. Dann schicke man durch beide Galvanometer einen Strom, beobachte wieder die Magnetnadel und bestimme die Richtung, in

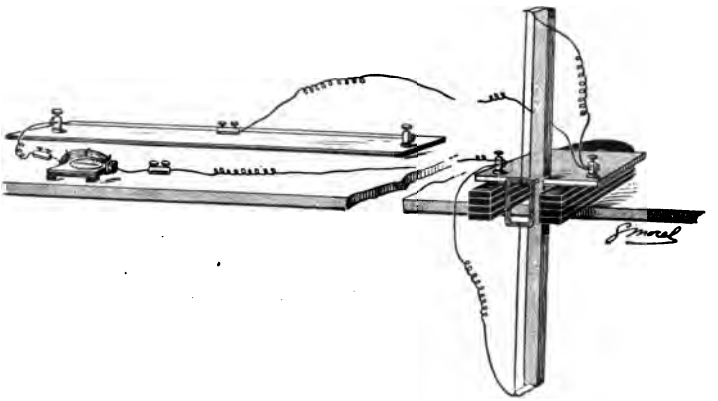


Fig. 389.

welcher der induzierte Strom floß, verglichen mit der Richtung des Stromes, welche dieselbe Bewegung des beweglichen Rahmens hervorruft, wie im Anfang des Versuches.

231. Richtung des Induktionsstromes; Lenzsches Gesetz. Man wiederhole den Versuch 229, 2, bestimme die Richtung von Hauptstrom und Induktionsstrom und stelle danach die Richtung der durch gegenseitige Einwirkung beider aufeinander entstehende Kraft (216) fest. Unterstützt diese Kraft die Bewegung beider Leiter, oder wirkt sie ihr entgegen? Man wiederhole unter diesem Gesichtspunkt die übrigen in 229 angestellten Versuche, indem man nach der in 229, 3 festgestellten Regel Nähern beider Stromkreise, Verringern des Widerstandes im primären Stromkreise und Schließen des primären Kreises als ähnlich wirkende Änderungen betrachtet. Wird auch bei diesen die eben gefundene Regel bestätigt, daß die zwischen dem primären und dem sekundären Kreis entstehende Kraft der Änderung des primären entgegenwirkt?

Ebenso vergleiche man die in 230, 1 angestellten Versuche mit dem in 220, 1 gefundenen Resultat.

Wie läßt sich also ganz allgemein die Richtung des induzierten Stromes bezw. seines Kraftfeldes (220, 4) bestimmen, wenn man die Änderung des primären Kraftfeldes und die auf diese Änderung einwirkende Kraft zwischen primärem und sekundärem Kraftfeld beachtet? Der für die Bewegung eines Stromleiters in einem magnetischen Kraftfeld gefundenen Linken-Hand-Regel (212, 1) entspricht somit für die durch Bewegung eines Leiters in einem Kraftfeld induzierten Ströme eine Rechte-Hand-Regel, welche man durch Berücksichtigung der gefundenen Beziehungen zwischen der Bewegung der Stromleiter und der Änderung des Kraftfeldes des primären Stromes auch auf diese übertragen kann.

232. Erdinduktion. Man umwickele einen größeren, um einen Durchmesser als Achse drehbaren Rahmen mit etwa fünfzig Windungen eines übersponnenen Kupferdrahtes und verbinde die Drahtenden mit einem (ballistischen) Galvanometer (Fig. 390).

1. Man verschiebe den Rahmen, ohne ihn zu drehen, in seiner eigenen Ebene. Wie verhält sich die Nadel des Galvanometers? Dann stelle man die Achse senkrecht zum magnetischen Meridian (81), den Rahmen senkrecht zur Richtung der Inklinationsnadel, drehe den Rahmen rasch um 180° und beobachte das Galvanometer. Man drehe weiter um 180°, oder auch zurück. Erfolgen die Ausschläge der Nadel in beiden Versuchen in gleichem oder entgegengesetztem Sinne? — 2. Man stelle die Achse in den magnetischen Meridian, den Rahmen horizontal, bewege diesen um eine halbe Umdrehung und beobachte die Größe des Ausschlages der Magnetnadel. Dann stelle man die Achse vertikal, den Rahmen senkrecht zum magnetischen Meridian, drehe wieder um 180° und bestimme die Größe des Nadelausschlages. Man vergleiche das Verhältnis der beiden beobachteten Galvanometerablenkungen mit der Tangente des Inklinationswinkels.

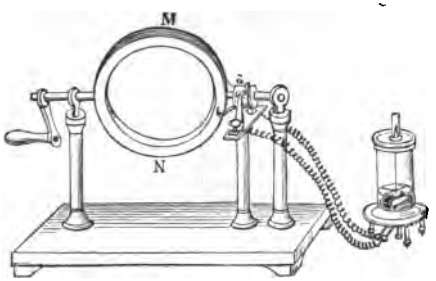


Fig. 390.

Sind die Ausschläge der Nadel für eine halbe Umdrehung zu klein, so beobachte man mit Hilfe des Multiplikationsverfahrens (163, 3), indem man jedesmal in dem Augenblicke, in welchem die Nadel durch ihre Ruhelage geht, die entgegengesetzte halbe Drehung vollführt, also der Nadel einen Stoß in derselben Richtung gibt, in welcher sie sich schon bewegt.

233. Abhängigkeit des Induktionskoeffizienten von der gegenseitigen Entfernung der aufeinander induzierenden Spulen. Man stelle sich zwei genau gleiche ringförmige Drahtspulen von vielleicht 5 cm innerem Durchmesser her, ähnlich wie sie in 229 benutzt worden sind, und stelle ihre Ebenen parallel. Die eine bringe man wie dort in den Stromkreis einer konstanten Stromquelle unter Einschaltung eines Unterbrechers, die andere verbinde man mit dem Galvanometer. Man beobachte für verschiedene Entfernungen beider Spulen voneinander die Ausschläge im Spiegelgalvanometer und zeichne sie als Funktion der Entfernung in Koordinatenpapier ein. Da hier jedesmal derselbe Strom in derselben Zeit geschlossen wird, kann nach 229, 5 Verschiedenheit der Ausschläge nur durch Verschiedenheit des Induktionskoeffizienten bedingt sein. Nimmt nach den Beobachtungen der Induktionskoeffizient mit abnehmender Entfernung ab oder zu? Man extrapoliere graphisch (5, 4) bis zur Entfernung Null der beiden Spulen voneinander, d. h. bis zu dem Wert des Induktionskoeffizienten,

wenn beide Spulen in eine einzige zusammenfallen würden. Wie wird hiernach ein Strom auf sich selbst induzierend wirken (Selbstinduktion)?

234. Abhängigkeit der Induktion von der Kraftlinienzahl. 1. Man lege bei der in der vorigen Nummer benutzten Anordnung durch beide Spulen ein Stück weiches Eisen; wird dadurch die elektromotorische Kraft des Induktionsstromes vermehrt, welcher entsteht, wenn man den primären Strom schließt? Man fülle allmählich den ganzen Raum innerhalb der Spulen mit Stäben aus weichem Eisen, die gegeneinander, vielleicht durch einen Lacküberzug, isoliert sind, und beobachte jedesmal den Induktionsstrom, wenn im Hauptkreis stets ein gleich starker Strom geschlossen wird.

Wie ist durch das weiche Eisen das Kraftfeld des primären Stromes geändert worden (222)? Wie muß demnach die Bedeutung der Größe v in 229, 5 gewählt werden, damit auch die durch das Entstehen des Stromes eintretende Änderung der Kraftlinienzahl berücksichtigt wird.

Man messe die Induktion der beiden mit Eisen gefüllten Spulen aufeinander für verschiedene Entfernungen und extrapoliere daraus wie in Nr. 233 die Selbstinduktion. Man vergleiche die hier mit der dort erhaltenen Kurve.

2. In der in Nr. 230, 2 benutzten Versuchsanordnung drehe man den Rahmen um einen bestimmten kleinen Winkel, einmal, wenn in der Anfangslage der Rahmen parallel, das andere Mal, wenn er in der Anfangslage senkrecht zur Richtung der Kraftlinien steht. In welchem Falle findet die größere Änderung der durch den Rahmen gehenden Kraftlinienzahl statt (76, 4), und wie verhält sich hierzu der Ausschlag des Galvanometers?

235. Selbstinduktion. 1. Man schalte in den Stromkreis eines Elektromagnetes von recht geringem Widerstand in seinen Windungen ein Ampèremeter, schließe den Strom und beobachte die Geschwindigkeit, mit welcher das Ampèremeter sich einstellt. Man

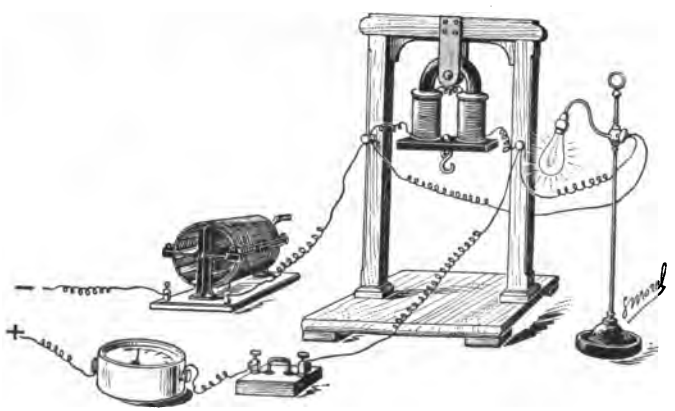


Fig. 391.

wiederhole den Versuch, indem man den Anker vor den Magnet legt. Stellt der Zeiger des Ampèremeters sich schneller oder langsamer ein? — 2. Man bringe einen Elektromagnet, ein Ampèremeter, einen Rheostaten und einen Unterbrecher in denselben Stromkreis (Fig. 391); an die beiden Klemmschrauben des Magnetes schließe man eine elektrische Glühlampe an, welche ungefähr denselben Widerstand hat wie der Elektromagnet, so daß nach den Kirchhoffschen Gesetzen (177) sich der Strom ungefähr zu gleichen Teilen auf den Elektromagnet und die Glühlampe verteilt. Man beobachte die Helligkeit der Lampe, während der Strom geschlossen ist. Dann öffne und schließe man den Strom mehrmals hintereinander und beobachte in diesen Augenblicken die Helligkeit der Glühlampe. Welchen Schluß kann man unter Berücksichtigung des Gesetzes über Stromverzweigung auf die Richtung der in den Windungen des Elektromagnetes entstehenden „Extraströme", verglichen mit der des Hauptstromes, beim Öffnen und beim Schließen ziehen. — Man schalte einen schnellwirkenden Unterbrecher in den Stromkreis. Wird die Helligkeit der Lampe dadurch erhöht oder vermindert? — 3. Man schalte ein Element, einen Elektromagnet, einen diesem an Widerstand gleichen Rheostaten, zwei andere Rheostaten von großem, aber nahezu gleichem Widerstand, einen auf einem Brett ausgespannten Manganindraht mit Gleitkontakt, ein Galvanometer und zwei Unterbrecher in der aus Fig. 392 ersichtlichen Anordnung. Man reguliere die Widerstände so, daß im Galvanometer, wenn der Strom geschlossen gehalten wird, kein Ausschlag erfolgt. Dann öffne und schließe man den Hauptstrom und beobachte das Galvanometer. Sind die in den Windungen der Widerstände entstehenden Extraströme von solcher Richtung, daß sie die Entstehung und das Verschwinden des Hauptstromes fördern oder hemmen? — Man wiederhole diese Versuche für verschiedene Stärken des Hauptstromes und vergleiche die Größen der Ausschläge miteinander. In welcher Beziehung steht demnach die elektromotorische Kraft der durch die Selbstinduktion im Elektromagnet hervorgerufenen Extraströme zur Stärke des Hauptstromes? — Man öffne den Galvanometerkreis, schließe den Hauptstromkreis und kurz darauf den des Galvanometers und beobachte dieses. Welchen Schluß kann man hieraus auf die kürzere oder längere Zeit ziehen, die der Hauptstrom gebraucht, ehe er im ganzen Apparat sich völlig entwickelt hat. — Man schließe den Hauptstromkreis bei geöffnetem Galvanometerkreis, öffne den ersteren und schließe kurz darauf den anderen. Man benutze hierzu zwei dicht nebeneinander befindliche Unterbrecher, z. B. die in Fig. 268 dargestellten. Man beobachte das Galvanometer. Welchen Schluß kann

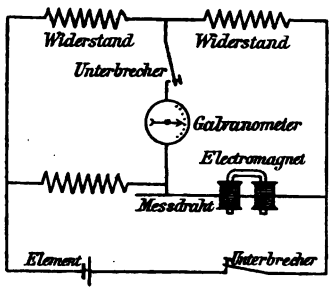


Fig. 392.

man aus dieser Erscheinung auf die Zeit ziehen, welche der Elektromagnet gebraucht, um wieder unmagnetisch zu werden? Fördert oder hemmt der Extrastrom das Unmagnetischwerden? — 4. Man stelle eine Wheatstonesche Brücke her, in welcher man die beiden Spulen eines starken Elektromagnetes, welchem man nach Schluß des Stromes seinen Anker gibt, in zwei entgegengesetzte Zweige bringt; in die beiden anderen Zweige bringe man zwei „induktionsfreie" Widerstände, d. h. Drähte, die nicht in Windungen gespannt sind oder deren Windungen doppelt gewunden werden, so daß in zwei nebeneinanderliegenden Drahtstückchen Extraströme von entgegengesetzten Richtungen gehen und so sich aufheben; man nehme jeden ungefähr so groß wie den einer Spule des Elektromagnetes. Man benutze als Stromquelle ein Element und reguliere den Widerstand, so daß in der Brücke kein Strom geht. Dann ersetze man den Gleichstrom des Elementes durch Wechselstrom und das Galvanometer durch eine elektrische Glühlampe, die für dieselbe Spannung geeicht ist, wie sie der Wechselstrom hat. Man beobachte die Glühlampe, d. h. also ob die Brücke noch, wie vorher, stromlos ist oder nicht (vgl. Fig. 391). An Stelle der Glühlampe kann man auch ein Telephon benutzen (187).

236. Dämpfung durch Induktionsströme. Wirbelströme. 1. Man entferne bei der aus Fig. 389 ersichtlichen Versuchsanordnung das zweite Galvanometer und verschiebe den Gleitkontakt des Drahtes so, daß der Kreis wenig Widerstand enthält. Man setze den Rahmen in Rotation und beobachte die Geschwindigkeit, mit welcher er zur Ruhe kommt. Man schalte mit Hilfe des Gleitkontaktes mehr Widerstand in den Kreis und wiederhole den Versuch. Kommt der Rahmen schneller oder langsamer zur Ruhe? — 2. Man lasse ein Pendel, dessen Pendelkörper, wie in Fig. 393 angegeben, aus einem geschlossenen Drahtkreise oder einer Kupferlamelle besteht, zwischen den Polschuhen eines Elektromagnetes schwingen, ohne daß durch die Windungen des letzteren ein Strom geht, und beobachte die Zeit, in welcher das Pendel zur Ruhe kommt. Dann wiederhole man den Versuch, wenn durch die Spule des Elektromagnetes ein Strom geht. Welche Pendel kommen schneller zur Ruhe? — 3. Man führe ein Kupferblech zwischen den Polen eines starken Elektromagnetes hindurch und achte auf den Widerstand, den man bei dieser Bewegung fühlt. — 4. Man lasse eine wagerecht aufgehängte Magnetnadel einmal innerhalb einer feststehenden kupfernen Hülse, dann ohne diese Hülse schwingen und vergleiche die Zeiten, in denen die Nadel zur Ruhe kommt (163, s). — 5. Man stelle einen starken Hufeisenmagnet vertikal und bringe eine kreisförmige Zink- oder Kupferscheibe zwischen die Pole, indem man die Achse (Strick-

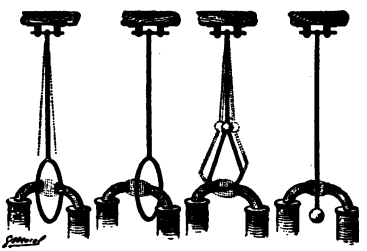


Fig. 393.

nadel) dieser Scheibe in zwei an beiden Polen angebrachten Holzleisten befestigt (Fig. 394). Man verbinde die Achse der Scheibe mit einem Galvanometer und halte das Ende des zweiten zum Galvanometer führenden Drahtes an die Scheibe selbst, während man die kurbelartig gebogene Achse dreht. Man beoachte den Ausschlag des Galvanometers bei zunehmender Umdrehungsgeschwindigkeit und bei zunehmender Entfernung der Berührungsstelle der Scheibe von der Achse. — 6. Man hänge eine Kupferscheibe mittels zweier an zwei vertikal gegenüberliegenden Rändern der Scheibe befestigten Kautschukfäden auf, drehe die Kupferscheibe um sich selbst, so daß die Aufhängefäden gedrillt werden, lasse dann die Scheibe los, so daß sie schnell in umgekehrter Richtung rotiert, und beobachte die Zeit, in welcher die Kupferscheibe zur Ruhe kommt. Man wiederhole

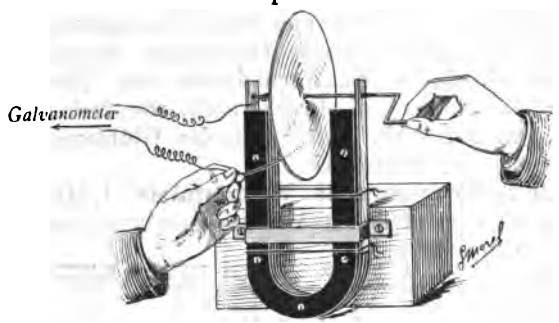


Fig. 394.

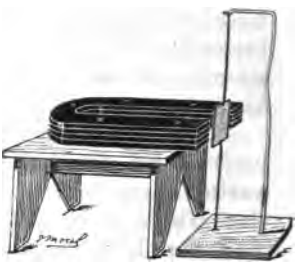


Fig. 395.

den Versuch, indem man einen starken Hufeisenmagnet horizontal legt, so daß die Kupferscheibe sich zwischen den Polen bewegen kann (Fig. 395). Welchen Unterschied zeigen beide Versuche?

Wie hängen diese Versuche mit den über die Induktion gefundenen Gesetzmäßigkeiten (231) zusammen?

237. Abhängigkeit des Induktionskoeffizienten vom Winkel; Mönnichs Fernmesser. Man wickle auf einen Rahmen eine große Zahl von Windungen aus dünnem, mit Seide umsponnenem Kupferdraht und auf einen anderen, der so groß ist, daß sich der erstere gerade durch ihn hindurchdrehen kann (vergl. Fig. 363), eine geringere Zahl Windungen dickeren Drahtes. Die Rotationsachse des kleineren Rahmens gehe durch die Mitte des größeren hindurch, der zu dem Zwecke eine hölzerne Scheidewand besitzt. Zwei genau gleiche Apparate dieser Art verbinde man so miteinander (Fig. 396), daß durch die großen Rahmen, die induzierenden Spulen, der durch einen Wagnerschen Hammer fortwährend unterbrochene Strom einer konstanten Batterie (2 Leclanché) geht und daß die in den kleineren Rahmen, den Induktionsspulen, dadurch induzierten Ströme entgegengesetzt verlaufen.

Man gebe der Induktionsspule des einen Apparates einen beliebigen Winkel gegen die induzierende und drehe dann die In-

duktionsspule des anderen Apparates so gegen ihre induzierende, daß ein in den Stromkreis der beiden Induktionsströme eingeschaltetes Telephon keinen Strom anzeigt, d. h., daß beide Induktionsströme einander entgegengesetzt gleich sind. In welcher Beziehung steht der Winkel der beiden Spulen des zweiten Apparates zu dem der Spulen des ersten, wenn das Minimum des Stromes erreicht ist?

Man verbinde die Rotationsachse der Induktionsspule des einen Apparates so mit einem spiralförmig aufgewickelten Metallthermometer, daß, wenn dieses infolge von Temperaturänderung sich auf- und abwickelt, die Induktionsspule gedreht wird. Die Rotationsachse der Induktionsspule des anderen Apparates versehe man mit einem Handgriff, so daß man sie bequem drehen kann, und befestige auf ihm eine Skala, welche der des Metallthermometers vollständig

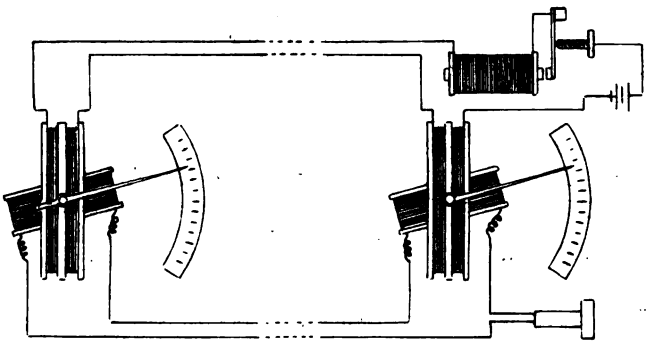


Fig. 396.

entsprechend liegt; in der Figur ist das Metallthermometer nicht gezeichnet, sondern nur sein Zeiger.

Man messe mit dieser Vorrichtung die Temperatur eines entfernten Raumes, indem man den Apparat mit dem Metallthermometer in diesem, den mit drehbarer Induktionsspule und Telephon im Beobachtungsraum aufstellt und diejenige Stellung sucht, bei welcher des Telephon das Minimum des Stromes anzeigt.

238. Der Schlittenapparat. Die sekundäre Rolle N (Fig. 397), deren Drahtenden in den Klemmschrauben a und b münden, ist auf dem Brettchen S befestigt, welches wie ein Schlitten in den Nuten des Gestelles gleitet; sie kann daher ganz oder teilweise über die primäre Spule H geschoben werden, welche an dem vertikalen Brettchen B wagerecht befestigt ist. Die primäre Rolle hat wenige Windungen eines dicken Drahtes, die sekundäre sehr viele Windungen eines dünnen Drahtes. Die Unterbrechung des Hauptstromes, dessen Poldrähte in die Klemmen c und d eingeschraubt werden, besorgt der magnetische Hammer M. In der primären Spule befindet sich ein dicker Eisenstab oder ein Bündel dünner Eisendrähte, welche durch einen Firnißüberzug von einander isoliert sind.

1. In die Klemmschrauben *a* und *b* bringe man die Drähte zweier metallischen Handhaben, die man in die etwas angefeuchteten Hände nimmt, um mittels der physiologischen Wirkung der Induktionsströme die Änderung der Spannung dieser Ströme verfolgen zu können.

Man schiebe die sekundäre Rolle ganz über die primäre Rolle, schicke durch die letztere einen nicht zu starken Strom, so daß die elektrisierende Wirkung der Induktionsströme schwach ist. Man verstärke den Hauptstrom immer mehr und mehr oder schiebe bei unverändertem Strom den Eisenkern immer tiefer in die Spule. Welchen Einfluß hat die Verstärkung des Stromes oder der magnetischen Wirkung auf die Spannung der Induktionsströme?

Man lasse den Hauptstrom, den induzierenden Strom, unverändert, stelle aber die Schraube des magnetischen Hammers so, daß die Unterbrechungen des Hauptstromes immer rascher erfolgen. Welcher Einfluß wird dadurch auf die induzierten Ströme hervorgerufen?

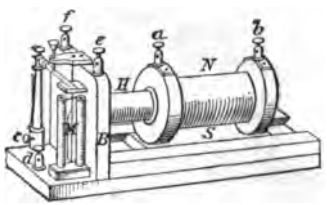


Fig. 397.

Man lasse den Hauptstrom und den Hammer unverändert, ziehe die sekundäre Spule fast ganz heraus, so daß nur wenige Windungen beider Spulen übereinander stehen. Dann schiebe man die sekundäre Rolle allmählich über die primäre und beoachte die Änderung der Spannung. Verfügt man über zwei sekundäre Rollen aus demselben Draht, aber von verschiedener Windungszahl, so schiebe man erst die eine, dann die andere über die primäre Rolle. Welchen Einfluß hat demnach die Zahl der Windungen, die in das Magnetfeld des Hauptstromes tritt, auf die Größe der Spannung der induzierten Ströme.

2. Man verbinde die Drähte der Handhaben mit den Klemmschrauben *e* und *f*, welche mit den Enden des Hauptdrahtes in Verbindung stehen, schließe den Hauptstrom und beachte die Wirkung der Extraströme, die in dem Hauptdraht selbst bei jeder Änderung der Kraftlinienzahl innerhalb der Spule des Hauptstromes entstehen (235).

239. Der Funkeninduktor; Rühmkorffscher Apparat. Die beiden aufeinander induzierenden Rollen sind fest miteinander verbunden.

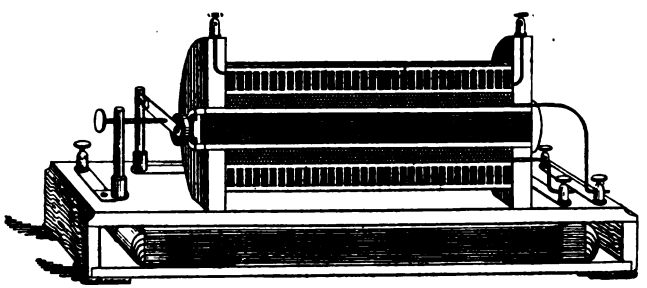


Fig. 398.

Um den Öffnungsextrastrom, welcher durch Funkenbildung an der Unterbrechungsstelle das Verschwinden des Hauptstromes verzögern würde, möglichst zu beseitigen, sind zwei zu beiden Seiten der Unterbrechungsstelle gelegene Punkte des Hauptdrahtes mit den beiden Belegungen eines Kondensators (119, 2) verbunden, der, in dem Fußbrette des Apparates enthalten (Fig. 398), die beiden Elektrizitäten des Extrastromes während der Unterbrechung in sich aufnimmt. Der selbsttätige Unterbrecher ist bei den kleineren Induktionsapparaten (Fig. 399) entweder ein Wagnerscher Hammer *W* oder ein Quecksilberunterbrecher *F*, bei welchem ein in einen Quecksilberbehälter tauchender Platinstift durch die Wirkung eines Elektromagnetes aus dem Quecksilber heraus-

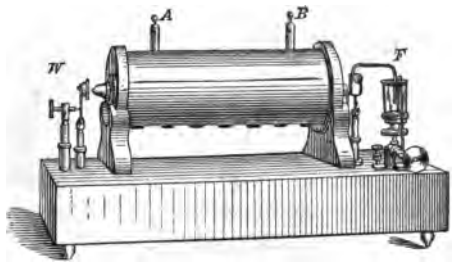


Fig. 399.

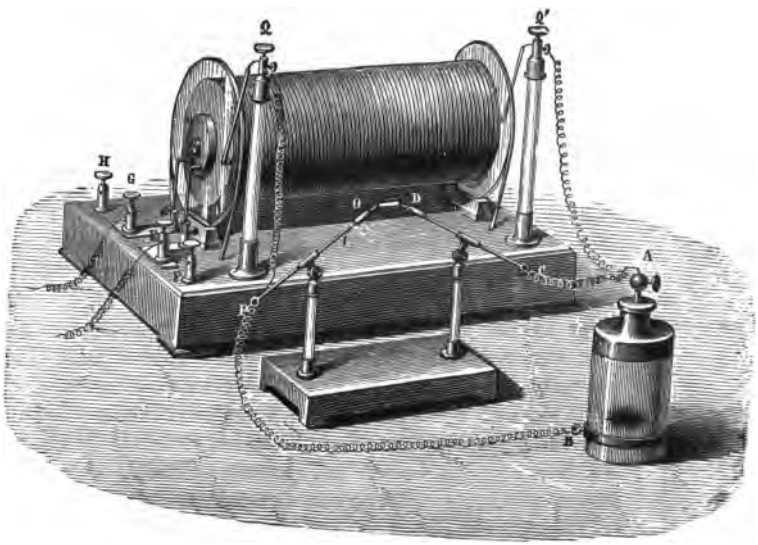


Fig. 400.

gerissen und dann durch eine Feder wieder zurückgeführt oder durch einen kleinen Elektromotor in eine rasche, hin- und hergehende Bewegung (Motor-Unterbrecher) versetzt wird.

Man verbinde die Klemmen eines Induktionsapparates mit den beiden Belegungen einer Leydener Flasche und diese beiden Belegungen mit den Drähten eines Ausladers (Fig. 400) und beobachte für verschiedene Entfernungen der Metallspitzen des Ausladers die bei diesem überspringenden starken Funken. Welchen Zweck hat die Ver-

wendung der Leydener Flasche (122)? Man lade mit Hilfe des Induktionsapparates eine Batterie Leydener Flaschen, indem man diese und den Auslader hintereinander in den Kreis der Induktionsströme schaltet (Fig. 401). Welchen Schluß kann man aus der Zahl der

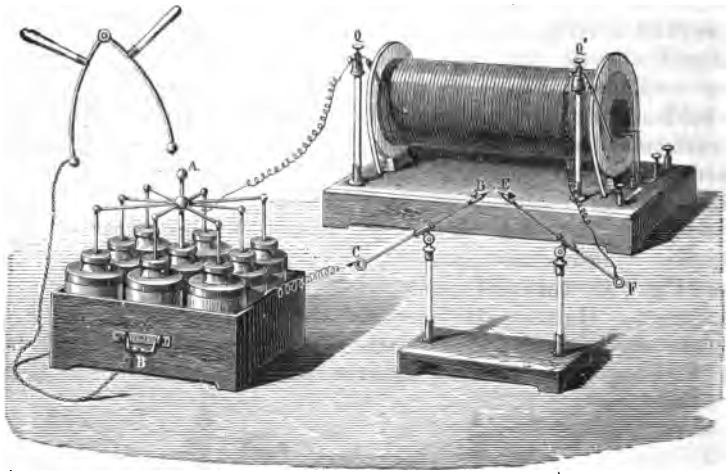


Fig. 401.

zwischen den Spitzen des Ausladers überspringenden Funken *auf die* Stärke der Batterie ziehen?

Man verbinde die Klemmen der sekundären Spule mit den Elektroden eines Ausladers und stelle diesen so, daß die Funkenstrecke vertikal ist. Vor diese bringe man einen rotierenden Spiegel entweder in der einfachen Form (I, Fig. 162) oder in der doppelt so wirksamen (Fig. 402), den man mit der Schwungscheibe der Zentrifugalmaschine (I, 36) antreibt. Man stelle die Funkenstrecke zunächst möglichst weit ein und betrachte im verdunkelten Zimmer die Bilder der Induktionsfunken im rotierenden Spiegel. Man suche im Spiegel den hellen horizontalen Strich, welcher der einen glühenden Elektrode entspricht, ferner die hellen vertikalen Striche der eigentlichen Funken und das die glühende Elektrode umgebende rötliche Lichtband. Dann stelle man die Funkenstrecke klein und beobachte im Spiegel, wie der helle horizontale Streifen abwechselnd unten und oben erscheint. Sind die im ersten Versuch auftretenden Funken die durch den Öffnungs- oder durch den Schließungsstrom entstehenden Funken, die „Öffnungsfunken" oder „Schließungsfunken"? Man beachte, um diese Frage entscheiden zu können, ob die Extraströme den Hauptstrom beim Schließen und Öffnen schwächen oder stärken (235), ob also der induzierte, sekundäre Öffnungsstrom oder der Schließungs-

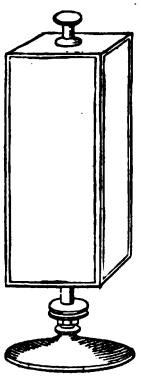


Fig. 402.

strom der stärkere ist. Wird also bei größerer Funkenstrecke nur der Öffnungs- oder der Schließungsfunken kräftig genug sein, um die Luft zu durchbrechen? — Man bezeichnet die beiden Klemmen der sekundären Spule als positiven (Anode) und negativen (Kathode) Pol, indem man den schwächeren Funken unberücksichtigt läßt.

240. Elektrolytische Unterbrecher. Man schmelze einen kurzen Platindraht in das eine Ende einer engen Glasröhre, bringe in diese auf das in die Röhre reichende Platinende einige Tropfen Quecksilber und führe in die Röhre bis in das Quecksilber einen Kupferdraht. Die Glasröhre bringe man in eine andere, etwas kürzere und weitere, die am unteren Ende soweit zugeschmolzen ist, daß der Platindraht gerade durch eine kleine Öffnung der Röhre hindurchgeht. Um das obere Ende der äußeren Glasröhre lege man ein Stückchen Kautschukschlauch, so daß man die Lage beider Röhren zueinander und damit die Länge des aus der äußeren Röhre herausragenden Platindrahtes ändern kann. Man stelle die so hergerichtete Platinelektrode mitten in ein mit 10prozentiger Schwefelsäure gefülltes Gefäß, indem man die Glasröhre durch ein Brett führt und dieses über den Rand des Gefäßes legt (Fig. 403). Als zweite Elektrode benutze man eine Bleiplatte.

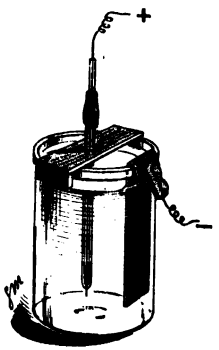


Fig. 403.

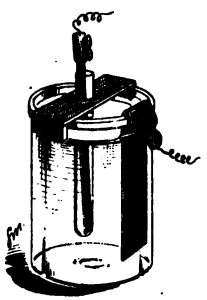


Fig. 404.

Man setze den Unterbrecher nebst einer Drahtrolle mit ziemlich großer Selbstinduktion (235), z. B. den Spulen eines Elektromagnetes, in den Kreis einer Stromquelle von 40—60 Volt Spannung, so daß die Platinelektrode der positive Pol wird; erwärmt man die Flüssigkeit bis etwa 60 Grad, so genügt eine Spannung von 12 Volt. Man beobachte, wie der Platindraht rotglühend wird und sich mit einer Gasschicht umgibt, welche von purpurfarbenen Funken durchbrochen wird. Man ändere die Länge des in die Flüssigkeit tauchenden Platindrahtes und beobachte die dadurch hervorgerufene Änderung der Stromstärke. — Man kann die Platinelektrode auch durch eine Kupferelektrode ersetzen, die man als negativen Pol benutzt; die Zahl der Unterbrechungen ist aber viel geringer als bei Benutzung der Platinelektrode. — Eine andere Form eines elektrolytischen Unterbrechers erhält man, wenn man die den Platindraht enthaltenden Glasröhren durch eine Röhre ersetzt, welche unten bis auf ein Loch von 0,5—1 mm Weite oder mehrere Löcher verschlossen ist und in welcher eine Bleielektrode steht (Fig. 404). — Die elektrolytischen Unterbrecher können sowohl für Gleichstrom als auch für Wechselstrom benutzt werden.

241. Das Telephon. Man umgebe jeden Pol eines Hufeisenmagnetes mit etwa 50 Windungen eines dünnen Kupferdrahtes, so daß man an dem einen Ende einen Nord-, am andern einen Südpol erhält (221); die Enden des Drahtes verbinde man mit den Klemmen eines Galvanometers. Man lege vor den Hufeisenmagnet den Anker, reiße ihn wieder ab, wiederhole dieses mehrmals hintereinander und beobachte jedesmal die Nadel des Galvanometers. Man ersetze das Galvanometer durch ein Telephon (Fig. 405), in welchem sich ein Stahlmagnet *A* befindet, auf dessen durch ein weiches Eisenstück, Polschuh, verlängerten Pol eine Spirale *B* aus dünnem Draht aufgeschoben ist, deren Enden *C, C* nach den Klemmschrauben *D, D* gehen, während sich vor dem Pol eine rings eingeklemmte, kreisförmige Platte *E E* aus weichem Eisen befindet. Man entferne den

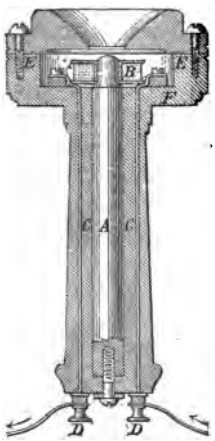


Fig. 405.

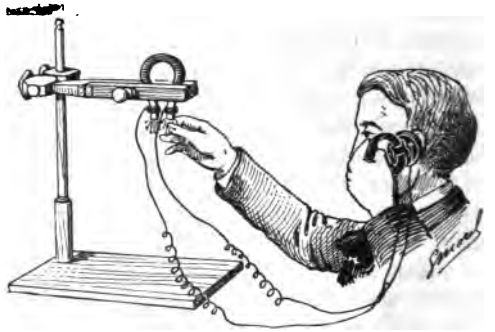


Fig. 406.

Anker des Hufeisenmagnetes, lasse diesen eine Anzahl Nägel anziehen (Fig 406), halte das Telephon an das Ohr und achte auf das Geräusch, welches entsteht, wenn man einen Nagel vom Magnete abreißt. Welchen Einfluß hat das Abreißen des Nagels auf die Zahl der durch die Spulen gehenden Kraftlinien des Magnetes, und welchen der dadurch induzierte Strom auf den Stahlmagnet bzw. auf die Platte *E E*.

Fig. 407.

142. Das Mikrophon. Man befestige ein sehr dünnes Brettchen aus gutem Tannenholz rechtwinklig an einem dickeren Brett und stelle das erstere vertikal. Man spitze ein Kohlestäbchen an beiden Enden zu und stelle es gegen das vertikale Brettchen, so daß es mit den Spitzen sich in zwei etwas ausgehölte Kohlestückchen stützt, von denen das eine am Tannenholzbrettchen, das andere auf der Brettunterlage befestigt ist (Fig. 407); das Kohlestäbchen muß sich bei der geringsten Erschütterung

des vertikalen Brettchens bewegen können. Das horizontal gestellte Brett lege man auf Stückchen Kautschukschlauch, damit das Kohlestäbchen weniger durch Erschütterungen des Tisches beeinflußt wird.

Man setze den Apparat nebst einem Telephon in den Stromkreis eines Elementes, halte das Telephon an das Ohr und achte auf die Geräusche, wenn man vorsichtig gegen das Tannenholzbrettchen klopft oder eine Taschenuhr an das Brettchen hält. Welchen Einfluß hat die zitternde Bewegung des Kohlestäbchens auf die Stromstärke, welche demnach auf den Polschuh des Stahlmagnetes des Telephons?

Man bringe das Mikrophon und die primäre Rolle eines kleinen Induktionsapparates in den Kreis des Elementes, während man das Telephon mit der sekundären Rolle verbindet. Welche Bedeutung hat die Bewegung des Kohlestäbchens für die sekundäre Rolle? (229) Man wiederhole den vorigen Versuch und achte auf den Unterschied in der Wirkung beider Anordnungen.

243. Singende Bogenlampe. Man sende von einer Akkumulatorenbatterie oder einer Dynamomaschine durch einen Vorschaltwiderstand den Strom zu einer Bogenlampe und erzeuge den gewöhnlichen Lichtbogen, lasse aber den Strom noch durch eine primäre Spule von wenigen Windungen eines dicken Drahtes gehen, während man durch die sekundäre Spule, die zahlreiche Windungen eines feinen Drahtes enthält, den Strom eines Mikrophonkreises schickt. Pfeift oder singt man in das Mikrophon, so werden in diesem Kreis Ströme erzeugt, deren Intensität schwankt, und diese erregen in der andern Spule des Transformators Induktionsströme, welche sich also dem Gleichstrom überlagern und dessen Intensität abwechselnd verstärken und schwächen. Der Lichtbogen wird bald mehr, bald weniger heiß; die Luft, die denselben bildet, dehnt sich bald mehr, bald weniger aus, und man erhält Schwingungen von demselben Tempo, wie sie die in das Mikrophon hineingesandten Luftschwingungen besessen haben.

244. Entladungserscheinungen in Gasen. Geißlersche Röhren. 1. Man verbinde eine Geißlersche Röhre (Fig. 408), die nur mäßig (z. B. auf $^1/_{200}$) verdünnte Luft enthält, mit einer Influenzmaschine und bestimme die Pole

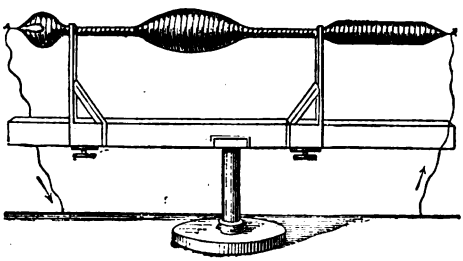


Fig. 408.

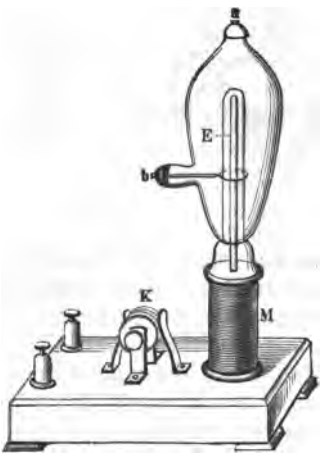


Fig. 409.

der Geißlerschen Röhre, dann wende man einen kräftiger wirkenden Funkeninduktor an. Welche Farbe hat die Lichthülle, das Glimmlicht, welches die negative Elektrode (Kathode) umgibt? Welche Farbe hat das Licht, das sich von der positiven Elektrode (Anode) durch die Röhre zieht? Man beobachte den dunklen Zwischenraum, der sich zwischen diesem Licht und der Kathode befindet. — 2. Man benutze eine Geißlersche Röhre, in der die Luft mehr verdünnt ist, und beobachte den Wechsel von hellen und dunklen Schichten, welche senkrecht zur Röhrenachse stehen und sich wellenartig fortzupflanzen scheinen; von welchem Pol geht diese Bewegung aus? — 3. Verfügt man über eine Röhre von der aus Fig. 409 ersichtlichen Anordnung, in welcher sich ein mit einer Glashülle bedeckter Eisenstab *E* befindet, so beobachte man das Verhalten des zwischen den Elektroden *a*, *b* sich hinziehenden Lichtes, wenn diese Röhre auf einen Pol eines Elektromagnetes *M* gesetzt wird, so daß der Eisenstab *E* magnetisch wird. Wie ändert sich die Erscheinung, wenn man mittels des Kommutators *K* die Pole des Elektromagnetes wechselt? — 4. Man wiederhole den zweiten Versuch mit einer Reihe von Geißlerschen Röhren, in denen die Luft noch mehr verdünnt ist. Wie verhalten sich das Anodenlicht und das Kathodenlicht hinsichtlich ihrer Ausdehnung?

245. Entladungserscheinungen in Gasen. Kathodenstrahlen. 1. Man zeige den Unterschied zwischen der elektrischen Entladung in mäßig verdünnter und in stark verdünnter Luft mit Hilfe der Crookesschen Röhren *A* und *B* (Fig. 410), von denen die erstere bis auf 2 mm Quecksilber, die andere aber bis auf etwa ein Milliontel Atmosphäre ausgepumpt ist. Man verbinde die Elektrode *a*, welche die Form einer Schale hat, mit dem negativen, die Elektroden *b*, *c*, *d* der Reihe nach mit dem positiven Pol. In welcher der beiden Röhren sieht man das Anodenlicht, und welchen Einfluß haben die Elektroden *b*, *c*, *d*? Welchen Einfluß haben in der andern Röhre diese Elektroden? Man beobachte in dieser Röhre das grüne Phosphoreszenzlicht des von den „Kathodenstrahlen" getroffenen Glases, berühre diese Stelle und beachte die hier eingetretene Erwärmung. Man lenke die Kathodenstrahlen durch einen Magnet ab. — 2. Man zeige die Eigenschaft der geradlinigen Ausbreitung der Kathodenstrahlen an der in Fig. 411 abgebildeten birnförmigen Röhre, in welcher die positive Elektrode ein aus Aluminiumblech ausgeschnittenes

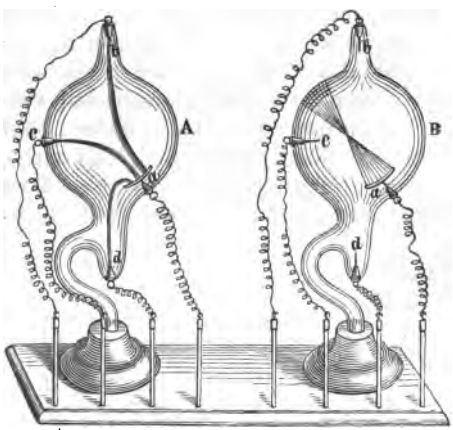


Fig. 410.

um ein Scharnier drehbares Kreuz *b* trägt. Der von dem Kreuz geworfene Schatten *cd* erscheint auf leuchtendem Grunde, dessen Farbe von der Glassorte abhängt, bei deutschem Glase meist grün. Man werfe durch eine leichte Erschütterung das Kreuz um. Welche Erscheinung beobachtet man jetzt? — 3. Verfügt man über eine Röhre, in welcher ein kleines Rad auf einer gläsernen Schienenbahn

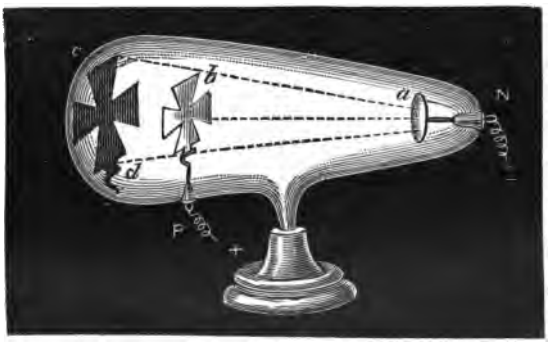


Fig. 411.

rollen kann (Fig. 412), so verbinde man die beiden Elektroden abwechselnd mit der Anode und der Kathode des Funkeninduktors.

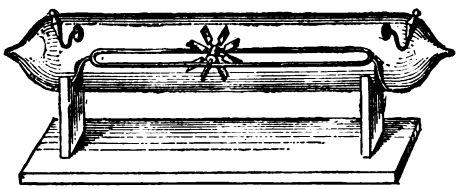


Fig. 412.

Von welcher Elektrode scheinen die Stöße zu kommen, die das Rad in Bewegung setzen?

246. Entladungserscheinungen in Gasen. Röntgenstrahlen. Der in den vorigen Versuchen auf dem Glase beobachtete Fleck grünen Phosphorenzlichtes ist, wie Röntgen nachgewiesen, die Quelle neuer Strahlen, die auch durch Gegenstände hindurchgehen, die für gewöhnliches Licht undurchlässig sind. Diese Erscheinung beobachte man mit Hilfe einer „Fokusröhre", in welcher entweder die Anode selbst (Fig. 413) in Form eines Platinbleches in den Brennpunkt der hohlspiegelartig geformten Kathode gebracht ist oder ein solches Platinblech, die sogenannte Antikathode, mit der Anode durch einen kurzen Draht verbunden ist (Fig. 414). Man bedecke beim Gebrauch dieser Röhre die ganze Röhre mit einem Tuch, halte in den Weg der vom Platin reflektierten und durch das Glas austretenden Strahlen einen mit einer fluoreszierenden Substanz, z. B. Barium-

platinzyanür bestrichenen Substanz und vor diese — im verdunkelten Zimmer — ein einige Geldstücke enthaltendes Portemonnaie oder die Hand und beobachte die die Röntgenstrahlen nicht durchlassenden Metallstücke und Knochen der Hand.

Fig. 413.

In den vielfach benutzten Fokusröhren, wie sie Fig. 415 angibt, ist ein kleiner Platindraht eingeschmolzen, mit dessen Hilfe man das

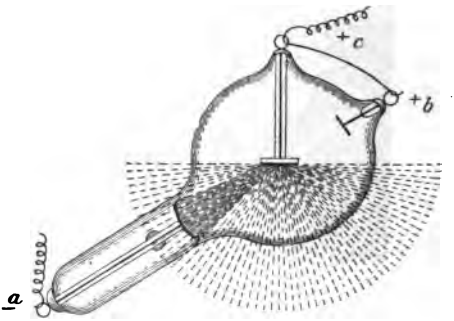


Fig. 414.

Innere der Röhre reicher oder ärmer an Wasserstoff machen *kann*. Im ersten Falle erhitze man den Platindraht durch eine *Bunsen*flamme, so daß aus dieser etwas Wasserstoff in die Röhre eintritt. Will man umgekehrt etwas Wasserstoff aus der Röhre entweichen lassen, so umgebe man den Platindraht durch eine kleine Platinhülse und erhitze diese, so daß der Draht nicht mit der Flamme in Berührung kommt.

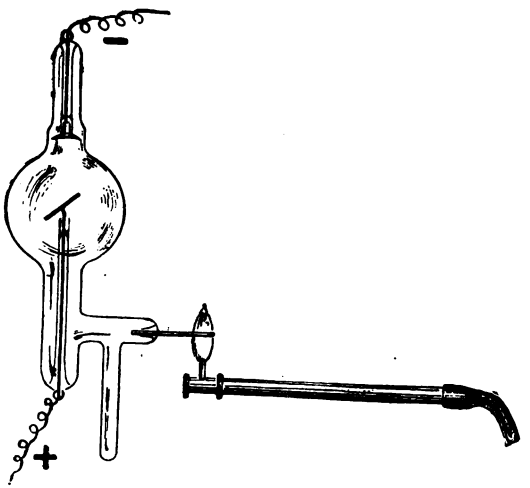


Fig. 415.

247. Elektrische Schwingungen. 1. Man verbinde die beiden Belegungen einer Leydener Flasche mit den Polen der sekundären Rolle eines Funkeninduktors und den Elektroden eines Ausladers (vergl. Fig. 400). Man entferne diese beiden Elektroden zunächst so weit, daß zwischen ihnen kein Funken überspringt. Dann nähere man

sie, bis gerade noch ein Funken übergeht. Man halte einen ebenen Spiegel so, daß man das Bild dieses Funkens und das Bild des am Unterbrecher des Hauptstromes überspringenden Funkens sieht, und reguliere die Entfernung der Elektroden des Ausladers so, daß jeder Funken beim Unterbrecher von einem Entladungsfunken der Flasche begleitet ist. Dann nähere man die beiden Elektroden allmählich mehr und mehr, so daß auf einen Funken des Unterbrechers zwei, drei u. s. f. Entladungsfunken kommen, bis ein ständiges Lichtbündel überzugehen scheint. Man blase diesen großen Funken mittels einer ausgezogenen Glasröhre aus und beobachte, wie zwischen den Elektroden wieder einzelne Funken von zunehmender Zahl übergehen. Ist die elektrische Energie des primären Stromes groß, so gebraucht man ein kräftiges Gebläse, z. B. das des Glasblasetisches.

2. Man wiederhole den ersten Versuch, indem man die Stromstärke und die Länge der Funkenstrecke so reguliert, daß auf einen Funken des Unterbrechers nur ein Entladungsfunken kommt. Man untersuche mit Hilfe eines Goldblattelektroskopes und einer Probekugel die Art der Elektrizität der inneren Belegung. Dann verstärke man den Strom sehr wenig, bis es gelingt, nachzuweisen, daß die innere Belegung abwechselnd positiv und negativ geladen ist.

3. Man verbinde die beiden Pole der sekundären Rolle eines Induktionsapparates mit einer Elektrode einer Geißlerschen Röhre und der inneren Belegung einer auf einer isolierenden Unterlage stehenden Leydener Flasche, die äußere Belegung dieser Flasche mit der anderen Elektrode der Geißlerschen Röhre. Man schalte den Rühmkorff in die Leitung ein und betrachte in einem rotierenden Spiegel (vergl. Fig. 397 oder I, Fig. 162) das durch die Geißlersche Röhre entstehende Funkenbild. Man wiederhole den Versuch, indem man Leydener Flaschen von verschiedener Größe oder eine Batterie nimmt, und beobachte den Einfluß der Änderung der Kapazität des Kondensators auf das Flammenbild.

4. Man stelle zwei gleichgroße Leydener Flaschen neben einander auf, von denen die eine *A* (Fig. 416) als Verbindung zwischen

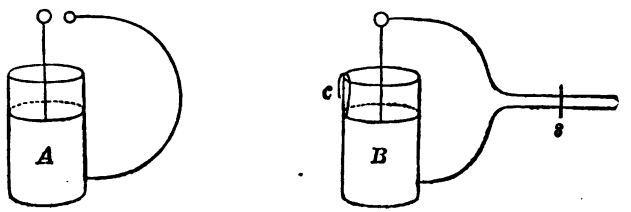


Fig. 416.

den beiden Belegungen einen Drahtbügel mit einer Funkenstrecke trägt. Bei der zweiten *B* sind die beiden Belegungen durch einen ähnlichen Drahtbügel direkt verbunden; doch kann hier die Länge des Schließungskreises durch eine verschiebbare Brücke *s* verändert

werden; bei *c* bildet ein Stanniolstreifen von der inneren Belegung her eine Brücke nach der äußeren mit einer kleinen Funkenstrecke dazwischen. Man lasse die Flasche *A* sich laden und entladen und verschiebe die Brücke *s*, bis auch bei *c* ein Funken überspringt. Man hat aus diesem Versuch auf eine Abstimmung (Resonanz I, 164), auf gleiche Schwingungsdauer der elektrischen Schwingungen geschlossen.

248. Hochgespannte Ströme. Man schalte einen Rühmkorff oder auch eine Influenzelektrisiermaschine, eine Funkenstrecke, zwei Kondensatoren und eine Spule von geringer Selbstinduktion nach der aus der Fig. 417 ersichtlichen Anordnung. Man kann als Kondensatoren Franklinsche Tafeln benutzen, welche zur Isolierung auf Kristallisierschalen gelegt werden (Fig. 418); eine Spule von geringer Selbstinduktion stelle man her, indem man einige etwa 1 cm voneinander entfernte Windungen blanken Kupferdrahtes um vier in Form eines Quadrates auf einem Brett vertikal befestigte Glassäulen legt. Für die Funkenstrecke benutze man zwei horizontal gestellte, verschiebbare, von isolierenden Glasfüßen getragenen Messingstäbe.

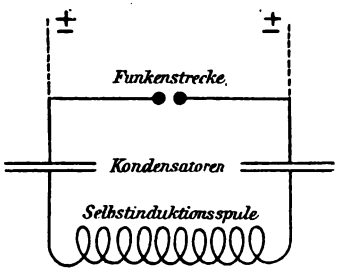
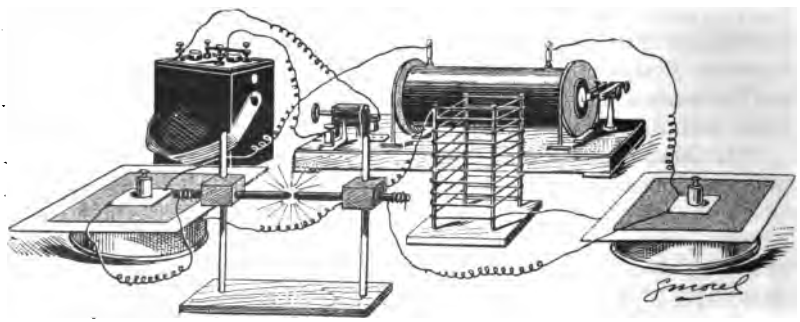


Fig. 417.

Man verbinde die Elektroden einer Geißlerschen Röhre *mit den* Enden der Kupferdrahtspule, setze den Apparat in Tätigkeit und


Eig. 418.

beobachte den Unterschied der Lichterscheinung an den beiden Elektroden der Geißlerschen Röhre. Man schalte diese Röhre direkt in den Induktionsstrom des Rühmkorff und beobachte wieder die beiden Elektroden der Geißlerschen Röhre. Liefert demnach die Entladung der Kondensatoren Gleich- oder Wechselstrom? — Man verbinde zwei beliebige Stellen der Kupferdrahtspule mit einer elektrischen Glühlampe (Fig. 419), setze den Apparat in Tätigkeit und beobachte, wie die Glühlampe leuchtet, trotzdem sie bedeutend

größeren Widerstand hat als die Kupferdrahtspule. Man ändere diesen Versuch, indem man die Drähte der Glühlampe an zwei immer weiter voneinander entfernte Stellen der Kupferdrahtspule an-

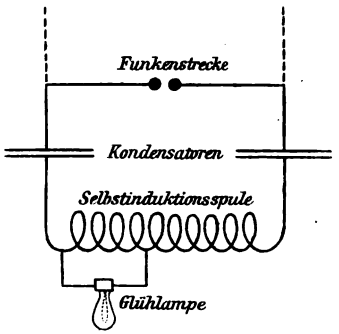


Fig. 419.

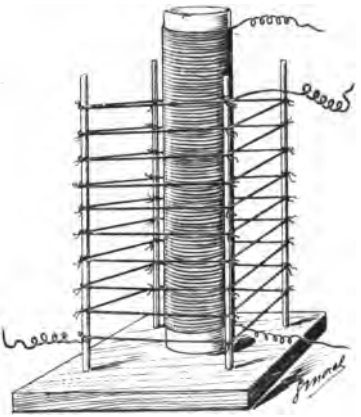


Fig. 420.

legt. Leuchtet die Glühlampe stärker oder schwächer? Gehen hiernach die Wechselströme von hoher Spannung den Weg, der kleineren

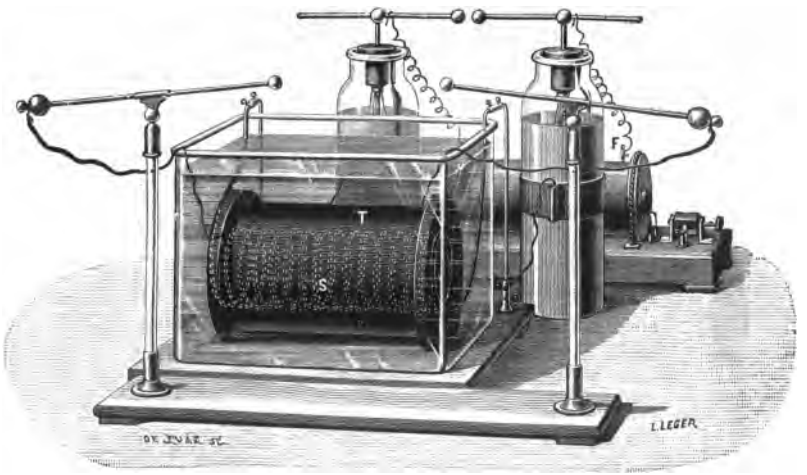


Fig. 421.

Ohmschen (172) Widerstand bietet, oder den kürzeren Weg? In der Kupferdrahtspule treten so starke Selbstinduktionsströme auf, daß sie dem Wechselstrom einen großen scheinbaren Widerstand (Impedanz) darbietet.

Man erzeuge die Spannung der Ströme durch einen Transformator, den man, wie Fig. 420 angibt, herrichtet; man umwickelt einen Lampenzylinder mit sehr feinem isolierten Kupferdraht und

stellt den Zylinder in die Kupferdrahtspule. Für größere Apparate besitzt der Transformator eine Ebonitröhre und wird in ein Gefäß mit Öl gelegt (Fig. 421). Man verbinde die Drahtenden des Transformators mit den Polen des Ausladers, setze den Apparat in Tätigkeit und vergleiche die Funkenlänge mit der nur durch die Induktionsrolle des Rühmkorff gegebenen. Man verbinde die sekundäre Transformatorspule mit einer Geißlerschen Röhre und beobachte das in dieser auftretende Licht. — Man verbinde die beiden Pole der sekundären Spule mit zwei etwa 20 cm langen blanken Kupferdrähten, die man einander parallel stellt, und beobachte das zwischen ihnen erscheinende leuchtende Band. — Man leite den einen Pol ab und beobachte die Lichterscheinung am anderen oder berühre diesen Pol mit einer Elektrode einer Geißlerschen Röhre oder berühre ihn selbst, indem man die Geißlersche Röhre in die andere Hand nimmt, und beobachte das Licht der Geißlerschen Röhre. — Man nähere die Kugel einer Leydener Flasche dem einen Pol der sekundären Spule, während man die äußere Belegung der Flasche mit der Hand faßt. Mit welcher Elektrizität ist die Flasche geladen? — Man verbinde die beiden Pole mit zwei parallel gestellten Metallscheiben und bringe zwischen diese Geißlersche Röhren oder elektrodenlose Vakuumröhren und beobachte, wie in diesem Versuch die Elektrizität direkt in Licht umgesetzt wird.

Fig. 422.

249. Telegraphie ohne Draht. Man stelle einen „Kohärer" in der aus Fig. 422 ersichtlichen Form her. In eine Glasröhre sind zwei dünne Metallstäbe, etwa Stricknadeln, geschoben, die mit abgeschrägten Enden auf eine Entfernung von ein bis zwei Millimeter einander gegenüberstehen; zwischen diesen Enden befindet sich Nickelfeilicht. Auf die Glasröhren sind kleine Stückchen Kautschukschlauch geschoben. Die Enden der Metallstäbe sind am Glas und an Klemmen mit Mastix befestigt.

1. Man setze den Kohärer nebst einer elektrischen Klingel in den Stromkreis eines Elementes und ordne die beiden ersten so an, daß der Klöppel gegen die Stelle des Kohärers schlagen kann, an welcher sich das Nickelfeilicht befindet (Fig. 423). Wenn trotz dieser Stöße beim Stromschluß keine Unterbrechung des Stromes eintritt, so schalte man soviel Widerstand in den Kreis, daß die Klingel gerade nicht mehr ertönen will. Dann lasse man auf die eine Elektrode der Klingel, etwa die eine Klemmschraube, einen elektrischen Funken überspringen und achte auf die Klingel. — Man kann, wie in Nr. 227 angegeben, eine telegraphische Verbindung herrichten, aber (vgl. Fig. 383)

außer der Klingel auch den Kohärer und das Element in Nebenschluß setzen. Um die Empfangsstation anzurufen, schicke man einen Funken in den Leitungsdraht. — 2. Man schließe einen Stromkreis durch Klingel, Kohärer und Element, lasse einen elektrischen Funken, z. B. zwischen den Polen einer Influenzmaschine, in der Nähe des Kohärers überspringen und achte auf das Ertönen der Klingel. Dann gehe man mit der Funkenstrecke immer weiter vom Kohärer zurück und wiederhole den Versuch, bis die Klingel nicht mehr anspricht. Man ersetze dann, um den Apparat auch für weitere Ent-

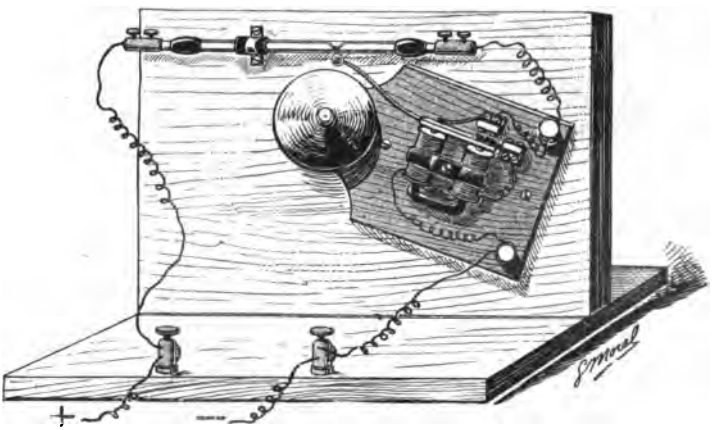


Fig. 423.

fernungen empfindlich zu machen, die Klingel durch ein Voltmeter, wiederhole einen Versuch und zeige, daß durch den elektrischen Funken der Widerstand des Nickelfeilichtes vermindert wird, die Klingel also nicht empfindlich genug war, um auf eine so geringe Änderung des Widerstandes anzusprechen. — 3. Man leite einen Pol des Kohärerkreises und ebenso einen Pol der Influenzmaschine zur Erde ab und verbinde den anderen Pol mit einem senkrecht gestellten, etwa 2 m langen, isolierten Kupferdraht (Fangdraht). Man wiederhole die Versuche mit Klingel oder Voltmeter oder irgendeinem empfindlichen Galvanoskop und suche Zeichen zu geben, wenn der Kohärerkreis und die Influenzmaschine in verschiedenen Zimmern, bei verschlossenen Türen, aufgestellt sind.

250. Der Trommelanker als magnetelektrische Maschine. Herstellung eines Trommelankers. Man schiebe eine große Zahl (200) kreisrunder, gefirnißter Blechscheiben von etwa 0,5 mm Dicke, die am Rande mit sechzehn gleichmäßig verteilten, schmalen Zähnen versehen sind, im Wechsel mit dünnen Papier- oder Glimmerscheiben mittels zentral gebohrter Löcher auf eine Achse, presse sämtliche Scheiben zusammen und halte sie durch dicke aufgeschraubte Endscheiben fest. Auf dieselbe Achse schiebe man einen Hohl-

zylinder aus Hartgummi oder einem ähnlichen isolierenden Material, auf welchem acht Kupferstäbe, parallel der Achse gleichmäßig verteilt und gegeneinander durch Glimmer oder Papier isoliert, mittels Schrauben befestigt sind. Den Blechzylinder umwickle man knäuelartig mit acht Spulen eines Kupferdrahtes nach der aus Fig. 424 ersichtlichen Anordnung. In dieser Figur sind *a*, *b*, *c* usw. die acht Kupferlamellen des kleineren Zylinders. Man löte das eine Ende der ersten Spule an die Kupferlamelle *a*, führe den Draht an der Vorderseite des Zylinders bis 1, parallel der Achse auf dem Mantel nach der Hinterseite, auf dieser nicht genau diametral herüber, sondern nach dem dem diametral gegenüber liegenden benachbarten Zwischenraum zwischen zwei Zähnen, dann auf dem Mantel nach vorn, über die Vorderseite herüber bis neben 1, nach 6′ hin, usw., bis der Raum zwischen den Zähnen mit Drähten ausgefüllt ist,

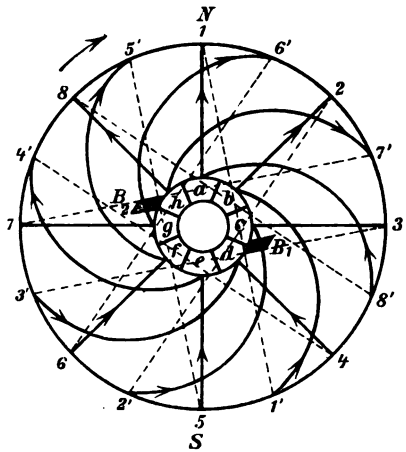


Fig. 424.

die sowohl auf dem Mantel als auch auf den Stirnflächen *nebeneinander* liegen. Das bei 1′ ankommende Ende dieser ersten Spule wird an die Lamelle *b* gelötet. An dieselbe Lamelle löte man den Anfang der zweiten Spule, welche in derselben Weise von 2 bis 2′ gewickelt wird, so daß also, wie die Figur zeigt, zwischen den von der ersten und der zweiten Spule ausgefüllten Zwischenräumen je einer frei bleibt. In gleicher Weise fahre man fort, bis schließlich das letzte Ende 8′ der letzten Spule wieder an die Lamelle *a* gelötet wird, so daß endlich alle Spulen eine in sich geschlossene Wirkung bilden. Fig. 425 zeigt einen derart ausgeführten „Trommelanker“ nebst dem aus den Kupferlamellen entstandenen „Kollektor“. Die Achse richte man so ein, daß sie auf eine Zentrifugalmaschine (I, 36) gesetzt werden kann. Sie steht also bei diesem kleinen Modell vertikal, während sie sonst meist eine horizontale Lage einnimmt.

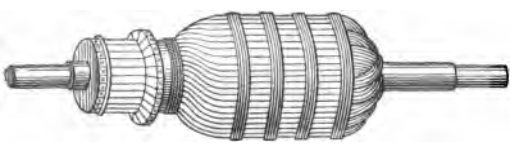


Fig. 425.

An einem Stativ befestige man einen großen und kräftigen stählernen Hufeisenmagnet oder einen durch galvanische Elemente erregten Elektromagnet, dessen erregender Strom unverändert erhalten bleibt, in wagerechter Stellung, so daß der Trommelanker zwischen den Polen

steht; man gebe dem Magnete so große und breite, halbkreisförmige Polschuhe (76, 4), daß diese den Trommelanker nahezu völlig umgeben.

An die schmalen Seiten eines länglichen kleinen Holzstückchens, das in der Mitte durchbohrt ist, um an demselben Stativ befestigt werden zu können, bringe man je einen dünnen Metallstab an; die am Holze liegenden Enden versehe man mit Klemmschrauben (Fig. 426). Diese Stäbe müssen so lang sein, daß ihre freien Enden bis vor bzw. hinter den Trommelanker reichen. An diesen Enden bringe man, rechtwinklig zu den Stäben, mittels Klemmen federnde Drahtbündel oder Streifen, „Bürsten", an, welche auf den Kupferlamellen des Kollektors, an zwei diametral gegenüberliegenden Lamellen, schleifen können. In Fig. 424 sind diese Bürsten mit B_1 und B_2 bezeichnet; die Verbindungslinie ihrer Berührungslinie steht nahezu senkrecht zur N-S-Richtung des Magnetes.

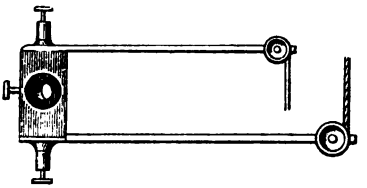


Fig. 426.

Untersuchung des Trommelankers: 1. Man entferne, um die Bedeutung der Schaltung der Drahtspulen erkennen zu können, den Stahlmagnet und schicke mittels der Bürsten den Strom eines Elementes durch die Spulen. Man untersuche, indem man beachtet, daß der in die Bürste B_1 eintretende positive Strom (in Fig. 424 ist der Anker als der einer stromliefernden Maschine gezeichnet, die Stromrichtung also entgegengesetzt der jetzt vorhandenen) sich in zwei Zweige teilt, die sich endlich in der Bürste B_2 wieder vereinigen, in welcher Richtung der Strom in den durch die beiden Bürsten gebildeten Hälften der Trommel in den einzelnen Drähten — von oben nach unten bzw. von unten nach oben — läuft. Dann stelle man sich vor die Trommel, in die durch die Berührungspunkte der Bürsten gegebene Ebene. In welcher Richtung wird die Trommel, je nachdem man vor der einen oder der anderen Bürste steht, vom Strom umflossen? Die Trommel stellt also einen Stabmagnet dar, welcher einen langgestreckten N- bezw. S-Pol besitzt. Liegen die Pole in der Ebene der Berührungspunkte der Bürsten oder rechtwinklig dazu? Man weise diese Pole durch eine Magnetnadel nach. — Man ändere die Stromrichtung. Wie ändert sich die Stromrichtung in den einzelnen Spulen und die Lage der Pole?

2. Man entferne die Leitungen nach der galvanischen Stromquelle, bringe den Hufeisenmagnet an seinen Ort und verbinde die Klemmen der Bürsten mit einem Galvanometer. Man drehe den Anker langsam und beobachte die Ausschläge des Galvanometers. In welcher Richtung müssen nach der Rechten-Hand-Regel (231) die Ströme in den einzelnen an den Magnetpolen vorbeikommenden und demnach auch in den übrigen Drahtwindungen fließen? Von welcher Bürste geht der positive Strom in die äußere Leitung? Wo besitzt also die Trommel wieder einen langgestreckten N- bzw. S-Pol? Man drehe

die Trommel in entgegengesetzter Richtung und beantworte dieselben Fragen wie vorher.

Die Spulen jeder Hälfte der Trommel verhalten sich also wie hintereinandergeschaltete (173) Elemente von gleich gerichteter, aber verschieden großer elektromotorischer Kraft (234, 2), deren elektromotorische Kräfte sich demnach addieren; beide Hälften verhalten sich wie zwei parallel geschaltete, gleichstarke Elemente. Liefert also bei Benutzung des Kollektors der Trommelanker als stromerzeugende Maschine Ströme von derselben Richtung, d. h. Gleichstrom, oder von wechselnder Richtung, d. h. Wechselstrom? — An Stelle des Galvanometers kann man auch einen Elektromagnet einschalten, dessen Pole je nach der Drehungsrichtung des Ankers bestimmen und dadurch die Stromrichtung feststellen.

3. Man verbinde die Klemmen der Maschine mit der primären Spule eines Transformators, z. B. eines Induktoriums (239) mit festgestelltem Selbstunterbrecher und die sekundäre Spule mit einem Telephon, drehe möglichst gleichmäßig und achte auf den Ton des Telephons. Man stelle denselben Versuch mit dem aus einem galvanischen Elemente kommenden Strom an. Besitzt demnach der von der Maschine gelieferte Gleichstrom konstante oder schwankende, periodisch wechselnde Stromstärke? — Man wiederhole den Versuch für verschiedene Umdrehungsgeschwindigkeiten des Ankers. In welcher Beziehung steht die Schwingungszahl des Tones zur Umdrehungszahl der Maschine?

4. Man drehe die Trommel — unter Ausschaltung des Galvanometers — einmal, wenn die äußere Leitung offen, dann, wenn sie geschlossen ist. In welchem Falle muß eine merkbare Arbeit aufgewendet werden, um die Maschine in Bewegung zu setzen? Man erkläre diese Erscheinung aus dem Lenzschen Gesetz (231). — Man vergleiche die magnetelektrische Maschine, bei welcher sich die Energie der Bewegung, die Arbeit, in elektrische Energie umsetzt, mit einer Reibungs- und einer Influenzelektrisiermaschine (101 u. 137). Welche Energie wird bei einem galvanischen Element (167 u. 168) und bei einer Thermosäule (205) in elektrische Energie umgesetzt?

251. Die magnetelektrische Maschine. Elektromotorische Kraft und Klemmenspannung. Man verbinde die Klemmen der Maschine mit einem Voltmeter und lege in die äußere Leitung (Schließungskreis, Nutzleitung) einen Rheostaten und ein Ampèremeter. Vor Beginn der Versuche bestimme man den Widerstand w_a der Ankerwindungen, indem man durch diese bei stillstehendem Anker irgendeinen Strom schickt, welchen man nachher wieder ausschaltet (178), Stromstärke und Klemmenspannung mißt (193 u. 194) und daraus nach dem Ohmschen Gesetz oder mit Hilfe der Wheatstoneschen Brücke den Widerstand berechnet.

1. Man messe für irgendeine Umdrehungszahl am Ampèremeter die Stromstärke I, bestimme den äußeren Widerstand w, einschließlich des des Ampèremeters, sowie den Gesamtwiderstand $w_a + w$, und

berechne die durch das Drehen des Ankers im Felde des Hufeisenmagnetes im Anker erzeugte elektromotorische Kraft E nach dem Ohmschen Gezetz. Man wiederhole den Versuch bei gleichbleibender Umdrehungszahl für verschiedene äußere Widerstände und vergleiche die für E gefundenen Werte miteinander. Wie hängt demnach — bei konstanter Umdrehungszahl und konstanter Intensität des magnetischen Feldes — die elektromotorische Kraft vom äußeren Widerstand ab (234)?

2. In der in den vorigen Versuchen gefundenen Beziehung $E = Iw_a + Iw$ stellt Iw die Potentialdifferenz an den Polen (Klemmen) der Maschine, die Klemmenspannung e, dar. Man messe für verschiedene äußere Widerstände am Ampèremeter die Stromstärke, an dem an die Klemmen der Maschine angelegten Voltmeter die Klemmenspannung und vergleiche die gefundenen Werte der letzteren miteinander. Ist also auch die Klemmenspannung, wie die elektromotorische Kraft, vom äußeren Widerstand unabhängig? Ist man berechtigt, bei gleichbleibender Umdrehungszahl für die Maschine wie für ein galvanisches Element das Ohmsche Gesetz anzuwenden?

Die Differenz $E - e = Iw_a$ gibt den Spannungsverlust, welchen der Strom durch den Widerstand der Ankerwindungen erleidet. Wird man demnach die Spulen des Ankers einer magnetelektrischen Maschine aus dickem oder dünnem Draht herstellen?

3. Man wiederhole die Versuche, indem man für die vorhin benutzte Umdrehungszahl dem äußeren Widerstande eine Reihe beliebiger Werte gibt und für jeden die Klemmenspannung und Stromstärke abliest. Man trage die Widerstände als Abszissen und sowohl die reziproken Werte der Stromstärke als auch die Werte der Klemmenspannung als Ordinaten in Koordinatenpapier ein, so daß man also gleich zwei Kurven erhält (Fig. 427).

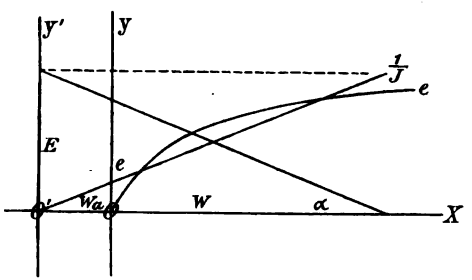


Fig. 427.

Man verlängere die erste Kurve sinngemäß, bis sie beide Achsen schneidet. Welche Bedeutung hat der Schnittpunkt mit der Abszissenachse (5, 4)? Man vergleiche diese Extrapolation mit der oben vorgenommenen unmittelbaren Messung. Aus dem Abschnitt auf der Ordinatenachse berechne man den zugehörigen Wert der Stromstärke; wie kann man diesen experimentell erhalten (Kurzschluß), und wie zeichnet er sich vor allen übrigen Stromstärken bei der benutzten Umdrehungszahl aus? Was für eine Art von Kurve ist die zweite, die Werte der Klemmenspannung darstellende? Man probiere aus den nach Nr. 5, 6 gezeichneten Kurven diejenige aus, welche der hier gefundenen sich anschließt, bezw. diejenigen, welche sie zwischen

sich einschließen, und verschiebe dann die Abszissenachse so, daß sie zur Kurve dieselbe Lage bekommt, wie in den Musterkurven. Man vergleiche den von dieser Hilfsabszissenachse auf der Ordinatenachse gebildeten Abschnitt mit der vorhin erhaltenen elektromotorischen Kraft. Für welchen Widerstand in der Nutzleitung erhält man also durch das an die Polklemmen angelegte Voltmeter direkt die elektromotorische Kraft der Maschine (Leerlauf)? Mit Hilfe der Musterkurve verlängere man die Kurve der Klemmenspannung bis zum Schnittpunkt mit der Abszissenachse; für welchen äußeren Widerstand erhält man also die Klemmenspannung Null? In welcher Beziehung steht dieses Resultat zu dem soeben für Kurzschluß erhaltenen?

Man verschiebe die Ordinatenachse um w_a nach links und trage auf dieser neuen Ordinatenachse den Wert der elektromotorischen Kraft auf. Wie kann man dies bequem machen mit Hilfe der durch die Lage der Hyperbel bedingten Hilfsabszissenachse? Den Endpunkt des Wertes der elektromotorischen Kraft verbinde man mit einem der benutzten Werte des Widerstandes durch eine gerade Linie. Welche Bedeutung hat die Tangente des von dieser Geraden und der Abszissenachse gebildeten Winkels α, welche die auf der ursprünglichen Ordinatenachse abgeschnittene Strecke, und welche die zwischen Geraden und Hilfsabszissenachse gelegene Strecke der alten Ordinatenachse?

Man berechne nach dieser graphischen Methode für irgendeinen äußeren Widerstand die Stromstärke, die Klemmenspannung und den Spannungsverlust im Anker, indem man vom alten Koordinatenanfangspunkt aus den Wert des Widerstandes auf der Abszissenachse aufträgt, die gerade Linie zeichnet, den Winkel ausmißt, seine Tangente nachschlägt und dann die beiden Teile der alten Ordinatenachse zwischen den beiden Abszissenachsen mißt. Man prüfe am Ampère- und Voltmeter die so gefundenen Werte experimentell.

252. Die magnetelektrische Maschine. Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft von der Umdrehungszahl. Man lasse die Maschine leer laufen (251, 3) und beobachte die elektromotorische Kraft für verschiedene Umdrehungsgeschwindigkeiten des Ankers. In welchem Falle ist die Geschwindigkeit, mit der sich die durch eine Spule gehende Kraftlinienzahl des Magnetfeldes ändert, größer, wird also die elektromotorische Kraft eine größere sein (234, 2)? Man zeichne die Kurve, welche die elektromotorische Kraft als Funktion der Umdrehungszahl darstellt. Welche Gestalt hat die Kurve?

253. Die magnetelektrische Maschine. Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft von der Stärke des Magnetfeldes. Verfügt man über einen zweiten — kräftigeren oder schwächeren — Stahlmagnet, so vergleiche man die elektromotorischen Kräfte in zwei Versuchen, in denen man die Umdrehungszahl und den äußeren Widerstand unverändert läßt. In welchem Falle erhält man die größere elektromotorische Kraft des Induktionsstromes; wann ist die Zahl der geschnittenen Kraftlinien die größere?

Benutzt man einen Elektromagnet, so ändere man durch den ihn erregenden Strom die Stärke seines Magnetfeldes, während man die Umdrehungszahl und den äußeren Widerstand unverändert läßt. Man zeichne die Kurve, welche die elektromotorische Kraft als Funktion der Stärke des das Magnetfeld erregenden Stromes darstellt.

254. Die magnetelektrische Maschine. Nutzeffekt und Wirkungsgrad. Man beachte die in No. 148 und 202 abgeleitete Definition für die elektrische Energie als das Produkt aus der Potentialdifferenz und der Elektrizitätsmenge, sowie die in No. 142, 2 gefundene Definition für die Stromstärke als die in der Zeiteinheit durch den Querschnitt fließende Elektrizitätsmenge. Da nun der „Effekt" (I, 55) eines Stromes gleich der in der Zeiteinheit geleisteten elektrischen Energie ist, so ist der Effekt also auch gleich dem Produkt aus der elektromotorischen Kraft und der Stromstärke.

1. Man messe für verschiedene Werte des äußeren Widerstandes bei gleichbleibender Umdrehungsgeschwindigkeit des Ankers Stromstärke und Klemmenspannung und berechne den „Nutzeffekt" $e\,I$ der Maschine, d. h. den Effekt des Stromes in der Nutzleitung.

2. Man bestimme für die in den vorigen Versuchen angewandte Umdrehungsgeschwindigkeit die elektromotorische Kraft durch Messung der Klemmenspannung beim Leerlauf (251, 3) der Maschine und berechne für jeden Versuch den „Totaleffekt" $E\,I$. Dann bestimme man den „elektrischen Wirkungsgrad" der Maschine, d. h. das Verhältnis des Nutzeffektes zum Totaleffekt, $e : E$, für die verschiedenen Werte des äußeren Widerstandes. Man bestimme die Abhängigkeit des Wirkungsgrades vom Widerstand, indem man für E bzw. e die in 251, 2 gefundenen Werte $I\,(w_a + w)$ bzw. $I\,w$ einsetzt. In welcher Beziehung muß der Ankerwiderstand zum äußeren Widerstand stehen, wenn der Wirkungsgrad gleich 1/2 sein soll. Welchem Maximalwert kann sich der elektrische Wirkungsgrad der Maschine nähern?

255. Der Zylinderinduktor als magnetelektrische Maschine. Um die Erklärung der Wirkungsweise des Trommelankers zu vereinfachen, kann man sich auch eine magnetelektrische Maschine mit Zylinderinduktor (Doppel-T-Anker) bauen, etwa in der Form, wie sie Fig. 428 andeutet. Der massive oder besser aus Eisenblechen zusammengesetzte Eisenzylinder, dessen Gestalt aus dem doppel-T-förmigen Querschnitt $a\,a'$ zu erkennen ist, besitzt zwei einander gegenüberstehende, rinnenförmige Ausschnitte, in welchen soviel Windungen eines parallel zur Achse gewickelten isolierten Kupferdrahtes angebracht sind, daß die Zylinderform wieder vollständig hergestellt ist. Die beiden Drahtenden führen zu einem nur zweiteiligen Kollektor, auf dem die Bürsten schleifen.

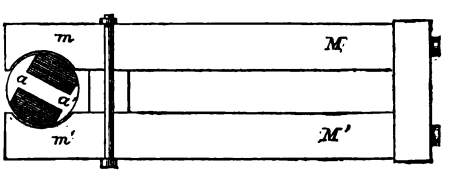


Fig. 428.

Man bestimme in ähnlicher Weise wie für den Trommelanker, in welcher Richtung die Ströme in jeder der beiden Spulen laufen bzw. von welcher der beiden Bürsten bei der betreffenden Drehung der Strom abgenommen werden kann. Wie oft im Vergleich zur Umdrehungszahl wechselt der in einer der Spulen beobachtete Strom seine Richtung? Erhält man zwischen solchen Richtungswechseln gleichmäßig starken Strom oder Stromstöße?

Man wiederhole den in Nr. 250, 3 angestellten Versuch für dieselbe Umdrehungszahl auch mit dem Doppel-T-Anker. In welcher Beziehung steht die Schwingungszahl zur Anzahl der Kollektorstreifen?

Man stelle den Versuch mit jeder der beiden Maschinen so an, daß man denselben Ton hört. In welchem Falle klingt er aber wegen der größeren Unterschiede der Stromstärke kräftiger?

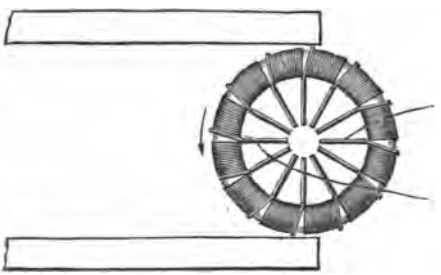


Fig. 429.

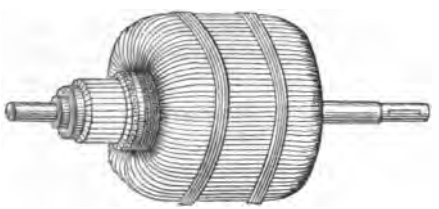


Fig. 430.

256. Der Grammesche Ring als magnetelektrische Maschine. An Stelle des Trommelankers wird bisweilen noch der „Grammesche Ring" angewendet. Bei diesem sind die Windungen in einzelnen Spulen, wie Fig. 429 andeutet, um einen Ring aus weichem Eisen geführt; die beiden freien Drahtenden sollen die Bürsten andeuten. Einen ausgeführten Ringanker zeigt Fig. 430.

1. Man weise bei geöffnetem Stromkreis und bei stillstehendem Anker nach, daß der Ring selbst magnetisch wird, so daß er gleichsam aus zwei halbkreisförmigen Magneten besteht, welche mit gleichnamigen Polen zusammenstoßen (72, 5). Wo sind die neutralen Stellen dieser beiden Magnete? Wie ändert sich die Lage der Pole, wenn der Anker gedreht wird?

2. Man stelle mit dem Grammeschen Ring ähnliche Versuche an wie mit dem Trommelanker. Insbesondere stelle man fest, wie die Ströme in den Spulen jeder Hälfte fließen und an welchen Stellen die Bürsten anzulegen sind.

3. Man bestimme den Verlauf der Kraftlinien des magnetischen Feldes durch das Eisen des Ringmagnetes (77, 2). Man beachte, daß nur die an der Außenseite des Ringes befindlichen Teile der Drahtwindungen die Kraftlinien schneiden, die auf der Innenseite befindlichen Teile also nur zur Rückleitung der induzierten Ströme dienen. Welchen Vorzug hat demnach der Trommelanker vor dem Ringanker (251, 2)?

257. Der Trommelanker als Dynamomaschine. Hauptschlußmaschine. Man verwende bei der in Nr. 250 beschriebenen Versuchsanordnung einen Elektromagnet, welcher gleichzeitig mit zwei Wicklungen, einer aus dickem und einer aus dünnem, isolierten Kupferdraht, versehen ist. Man schalte unter Benutzung des dicken Drahtes nach der aus Fig. 431 ersichtlichen Anordnung. In der Figur bedeuten N und S die Polschuhe des Elektromagnetes, Feldmagnetes, 1 und 2 die beiden Bürsten, K_1 und K_2 die beiden Polklemmen, L die äußere Leitung, Nutzleitung.

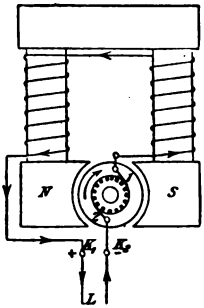


Fig. 431.

Eine Ausführung einer Dynamomaschine, an welcher man die einzelnen Teile erkennen kann, zeigt Fig. 432. Man erkennt die zur Verstellung der Bürsten dienenden Griffe, die dreiteiligen Bürsten, die vielen Lamellen des Kollektors, die von jeder Lamelle kommenden, zur zugehörigen Spule führenden Drahtleitungen und den Anker. Die Feldmagnete bestehen aus zwei

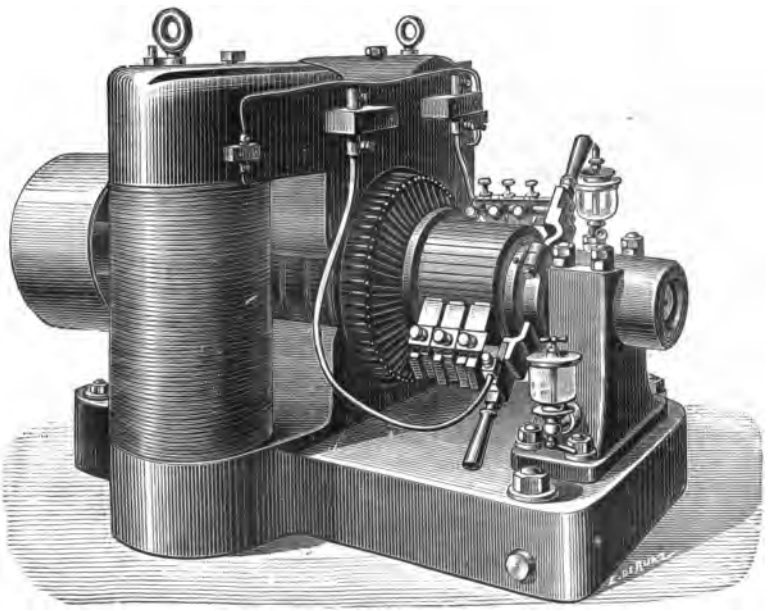


Fig. 432.

vertikalen, mit isoliertem Kupferdraht umwickelten Säulen, welche oben und unten durch brückenartige Polschuhe miteinander verbunden sind, deren Ansätze hohlzylindrisch den Anker umfassen. Der untere Polschuh ist mit dem Gestell aus einem Stück gegossen. Maschinen dieser Konstruktion haben eine sehr große Streuung, d. h. es gehen

sehr viele Kraftlinien durch die Luft von einem Pol zum anderen und nicht durch den Anker, sind also unwirksam. Bei den neueren Maschinen, bei denen diese Streuung möglichst vermieden ist, kann man die inneren Teile, namentlich Kollektor und Anker, gewöhnlich nicht von außen erkennen.

1. Man untersuche mit Hilfe einer Magnetnadel oder eines kleinen Eisenstückchens die Pole des Magnetes, einmal, wenn die Maschine still steht oder bei geöffnetem Stromkreis gedreht wird, dann, wenn der Anker bei geschlossenem Stromkreis gedreht wird. Läßt sich im ersten Fall remanenter Magnetismus nachweisen?

2. Man lege an die Polklemmen der Maschine ein Voltmeter und schalte in die äußere Leitung ein Ampèremeter und einen Rheostaten. Man drehe bei gleichbleibendem äußeren Widerstand mit immer größerer Umdrehungsgeschwindigkeit. Wie verhalten sich Ampèremeter und Voltmeter?

3. Man drehe mit konstanter Geschwindigkeit, schalte aber immer größere äußere Widerstände ein. Wie verhält sich die Klemmenspannung anfangs mit wachsendem Widerstand? Welchen Einfluß hat aber schließlich der immer schwächer werdende Strom auf den wirksamen Magnetismus und damit auf die elektromotorische Kraft und die Klemmenspannung? Ist die Stromstärke wie bei der magnetelektrischen Maschine nur vom äußeren Widerstand abhängig? Wie muß letzterer geändert werden, wenn die Klemmenspannung nahezu auf Null herabsinken soll? Man zeichne die Kurven, welche die Klemmenspannung und die Stromstärke als Funktion des äußeren Widerstandes zeigen.

4. Man bestimme den Widerstand des Ankers w_a, den des Feldmagnetes w_f, setze dann die Maschine durch möglichst gleichmäßige Drehung in Gang und bestimme am Voltmeter die Klemmenspannung e, sowie am Ampèremeter die Stromstärke I für verschiedene Werte des äußeren Widerstandes (einschließlich desjenigen des Ampèremeters). Wie lauten nach dem Ohmschen Gesetz (172) die Beziehungen zwischen der elektromotorischen Kraft E bzw. der Klemmenspannung e und den zugehörigen Werten der Widerstände und der Stromstärke? Man berechne für verschiedene Werte des äußeren Widerstandes w die elektromotorische Kraft aus dem Verhältnis $\frac{E}{e} = \frac{w + w_a + w_f}{w}$, stelle eine Tabelle auf, welche die in dieser Formel vorkommenden Größen enthält, und vergleiche insbesondere die für E und e gefundenen Werte miteinander. Ist wie bei der magnetelektrischen Maschine (Dynamomaschine mit Fremderregung) die elektromotorische Kraft unabhängig vom äußeren Widerstand?

5. Man beachte, ob die Kurbel sich für größeren oder für kleineren äußeren Widerstand leichter drehen läßt.

6. Man bestimme für irgendeine Umdrehungszahl bei verschiedenen Werten des äußeren Widerstandes Stromstärke und

Klemmenspannung und berechne jedesmal aus dem Produkt beider den Nutzeffekt (254).

258. Der Trommelanker als Dynamomaschine. Nebenschlußmaschine. Man schalte unter Benutzung der Magnetwicklung aus dünnem Draht nach der aus Fig. 433 ersichtlichen Anordnung, so daß der Strom von den Bürsten unmittelbar zu den Polklemmen und der äußeren Leitung geführt wird, an den Bürsten aber gleichzeitig die Magnetwicklung angeschlossen ist, also im „Nebenschluß" (174, 1) zur äußeren Leitung liegt, so daß somit der Strom, welcher aus dem Anker kommt, sich teilt, indem er zum Teil in die Magnetwickelungen, zum Teil in die äußere Leitung geht.

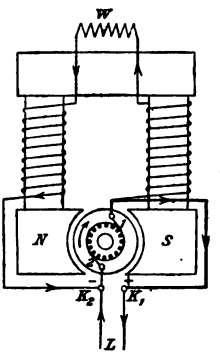


Fig. 433.

1. Man schalte wie bei den Versuchen mit der Hauptschlußmaschine ein Ampèremeter und einen Rheostaten in die Nutzleitung, sowie ein Voltmeter an die Polklemmen. Man beginne bei konstanter Umdrehungszahl mit kleinem äußeren Widerstand und beobachte Ampèremeter und Voltmeter. Welchen Weg nimmt der größere Teil des von den Klemmen kommenden Stromes, welchen der kleinere Zweigstrom? Man beachte, daß die Stärke des Magnetes von der Zahl der Ampèrewindungen (211) abhängig ist. Welcher Einfluß ergibt sich deshalb aus dem geringen Wert des äußeren Widerstandes auf die Stärke des Magnetfeldes, also auch auf die elektromotorische Kraft und die Klemmenspannung? Man beachte aber auch, daß der Fehler der geringen Ampèreszahl durch eine große Windungszahl ausgeglichen werden kann. Warum ist hiernach der Feldmagnet mit vielen Windungen aus dünnem Draht bewickelt?

Man lasse den äußeren Widerstand wachsen und beobachte Ampèremeter und Voltmeter. Man stelle Stromstärke und Klemmenspannung graphisch als Funktionen des äußeren Widerstandes dar. Wie verhält sich die Stärke des Stromes der Nutzleitung bei wachsendem äußeren Widerstande? Man vergleiche in dieser Hinsicht die beiden Schaltungen der Dynamomaschine miteinander. Wie verhält sich aber die Stromstärke, wenn der Widerstand immer größer genommen wird? Man bestimme den äußeren Widerstand, für welchen die Stromstärke einen maximalen Wert erreicht, und vergrößere dann den Widerstand, bis die Stromstärke nahezu gleich Null wird.

2. Man bestimme den Widerstand w_f der Magnetwicklung und berechne den gemeinsamen Widerstand w' der beiden nebeneinander geschalteten Leitungen (181): Nutzleitung und Magnetwicklung, sowie den Gesamtwiderstand $W = w' + w_a$, wenn wieder mit w_a der Widerstand der Ankerwicklung bezeichnet wird. Bezeichnet man mit i_a, i_f, I die Stromstärke im Anker, in der Magnetwicklung und in der Nutzleitung, und beachtet man, daß der Anker als ein Element von der

elektromotorischen Kraft E anzusehen ist und seine Wicklung durch die parallel geschalteten Widerstände w und w_f geschlossen ist, welche Beziehung besteht dann zwischen diesen drei Stromstärken? Man leite nach den Kirchhoffschen Gesetzen die Beziehungen $E = i_a(w_a + w') = i_a W$ und e (Klemmenspannung) $= i_f w_f = Iw = i_a w'$ ab und berechne für verschiedene Werte des äußeren Widerstandes w das Verhältnis $E : e = W : w'$ und daraus jedesmal die elektromotorische Kraft E. Man stelle eine Tabelle auf, welche die einzelnen Größen E, e, w, w', W enthält, und vergleiche sie mit der entsprechenden für die Hauptschlußmaschine gefundenen.

3. Man schalte in die Magnetwicklung einen veränderlichen Widerstand (Feldregulierwiderstand, Erregerwiderstand, W Fig. 433) und reguliere diesen so, daß einmal bei gleichbleibendem äußeren Widerstand die Klemmenspannung nach Belieben geändert wird, dann bei veränderlichem äußeren Widerstand die Klemmenspannung doch konstant bleibt. — Ist auch bei der Hauptschlußmaschine eine derartige Regulierung möglich?

4. Man messe für irgendeinen äußeren Widerstand Klemmenspannung e und Stromstärke I der Nutzleitung und berechne aus dem Produkt beider den Nutzeffekt (254). Man ändere wiederholt den äußeren Widerstand und reguliere den Erregerwiderstand derart, daß jedesmal derselbe Nutzeffekt erzielt wird.

Wird man für diejenigen Fälle, in denen immer dieselbe Leistung verlangt wird, z. B. für die Beleuchtung von Straßen mit Bogen*licht*, wobei immer dieselbe Zahl von Lampen brennt, eine Haupt- *oder* eine Nebenschlußmaschine mit Vorteil verwenden? Welche Maschine verdient den Vorzug, wenn je nach Bedarf immer verschiedene Effekte von der Maschine verlangt werden?

5. Man drehe die Kurbel für verschiedene äußere Widerstände und beachte, wann sie sich leicht bzw. schwer drehen läßt. — Man wiederhole die Versuche auch für verschiedene Werte der Stärke des Magnetfeldes.

259. Umdrehungszähler. Um die Beziehungen zwischen Stromstärke, elektromotorischer Kraft, Klemmenspannung und Widerstand eingehender untersuchen zu können, muß die Umdrehungsgeschwindigkeit der Maschine jederzeit genau bestimmt bzw. beobachtet werden können. Man gibt sie an durch die Zahl der Umdrehungen in einer Minute.

Fig. 434.

1. Am einfachsten ist es, einen Umdrehungs-(Touren)zähler etwa von der in Fig. 434 abgebildeten Form zu benutzen. Eine mit einer dreikantigen Spitze versehene stählerne Achse ruht in zwei Lagern des Gehäuses und greift mit mehreren an ihr angebrachten

Schraubengängen in ein Räderwerk ein, das durch die auf der einen Seite des Gehäuses vorspringenden Ziffern die Zahl der Umdrehungen der Räder und damit der Achse festzustellen gestattet.

2. Man kann auch auf der Achse eine stroboskopische Scheibe befestigen (Fig. 435), welche aus einer Anzahl konzentrischer Kreisringe und einer kleinen Vollscheibe im Zentrum besteht. Die kleinste Scheibe ist zur Hälfte schwarz, zur Hälfte weiß; der nächste Kreisring besitzt abwechselnd je einen weißen bzw. schwarzen Sektor. Jeder folgende Ring besitzt einen weißen und einen schwarzen Sektor mehr als der vorhergehende. Man beobachtet diese stroboskopische Scheibe durch zwei schmale Spalte, welche man in Aluminiumblättchen (Fig. 436) angebracht hat; diese befestigt man an den Enden einer Stimmgabel. Wenn die Bewegungen der Scheibe und der angeschlagenen Stimmgabel isochron sind, erscheint einer der Kreisringe, durch die Spalte betrachtet, unbeweglich. Man bestimmt dann die Umdrehungszahl der Maschine mit Hilfe der bekannten Schwingungszahl der Stimmgabel. An Stelle der Stimmgabel kann man sich auch der in I, Nr. 148 benutzten Sirene bedienen.

Fig. 435.

3. Sehr bequem sind die auf der Wirkung der Zentrifugalkraft (I, 36, 2) beruhenden Tachometer, weil sie sofort die Geschwindigkeit selbst abzulesen gestatten. Man baue sich ein einfaches Tachometer auf folgende Weise. Zwei schwere, mitten durchbohrte Kugeln können sich auf einer Messingstange leicht verschieben. Die Verschiebbarkeit ist durch je einen äußeren und einen inneren Anschlag begrenzt. Die Messingstange wird in ihrer Mitte an einer anderen Stange, der Rotationsachse, befestigt. Diese trägt in der Nähe der Messingstange zwei leicht bewegliche Rollen, über welche von den Kugeln her Fäden geführt werden, deren andere Enden an einer auf der Rotationsachse verschiebbaren Scheibe befestigt sind. Ferner

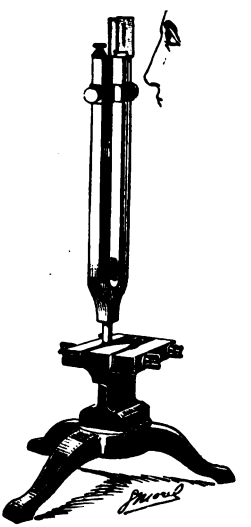


Fig. 436.

sitzt an der Rotationsachse unmittelbar über den beiden Rollen eine zweite Scheibe, welche an zwei Stellen durchbohrt ist, damit die Fäden nach der oberen beweglichen Scheibe hindurchgeführt werden können. Zwischen beide Scheiben wird eine Spiralfeder geklemmt. Am oberen Ende der Rotationsachse ist ein drehbarer Griff, mit dem man das Tachometer auf den rotierenden Körper setzen kann. Der untere kurze Teil der Rotationsachse endet in einen Dreikant. Man teile den oberen Teil der Rotationsachse, soweit die bewegliche Scheibe sich bewegt, und eiche diese Teilung, indem man das Tachometer auf eine Zentrifugalmaschine setzt, deren Umdrehungszahl man aus dem Übersetzungsverhältnis und der Umdrehungszahl der großen Scheibe berechnen kann. Ist der innere Anschlag mindestens 10 cm von der Rotationsachse entfernt, so läßt sich das Tachometer bei Geschwindigkeiten von mehr als 200 Umdrehungen in der Minute in allen Stellungen gebrauchen.

260. Die charakteristische Kurve einer Dynamomaschine mit Fremderregung bei geöffnetem Stromkreis. Um die gegenseitige Abhängigkeit der elektrischen Größen einer Dynamomaschine, insbesondere den Einfluß der Stärke des die Magnetschenkel umfließenden Stromes auf die Intensität des Magnetfeldes und damit auf die in den Ankerwindungen hervorgerufene elektromotorische Kraft zu untersuchen, empfiehlt es sich, eine von einer konstanten Kraftmaschine getriebene, von einer erfahrenen Firma gebaute Dynamomaschine zu verwenden.

Als Motor benutzt man am besten einen selbst wieder von irgendeiner Stromquelle von konstantem Potential gespeisten Nebenschlußmotor. Nachdem man sich von der Richtigkeit aller Verbindungen

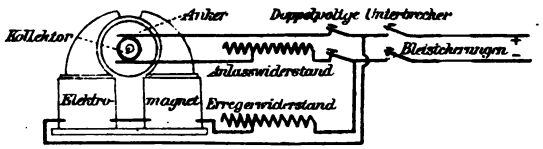


Fig. 437.

überzeugt hat (Fig. 437), setzt man den Motor in Gang, indem man zuerst den Stromkreis der Magnetwicklung, dann den der Ankerwicklung schließt; durch den Feldregulierwiderstand (Erregerwiderstand) (vergl. *W* Fig. 433) bestimme man die Stärke des Magnetfeldes, durch den vor die Ankerwindungen geschalteten Anlaßwiderstand die Umdrehungsgeschwindigkeit.

Man unterbreche die Verbindung der Dynamomaschine zwischen Schenkelwindungen und Anker, schließe erstere an eine Stromquelle von konstantem Potential und lege in diesen Stromkreis einen Rheostaten und ein Ampèremeter, ferner an die Polklemmen des Ankers,

dessen äußere Leitung im übrigen geöffnet ist, ein Voltmeter (Fig. 438). Bei den Messungen achte man unter Benutzung eines Umdrehungszählers jedesmal darauf, daß die Umdrehungsgeschwindigkeit konstant ist. Man schicke durch die Magnetschenkelwindungen einen Strom von wechselnder Stärke und messe jedesmal Stromstärke und Klemmenspannung. Man zeichne die Kurve, welche die elektromotorische

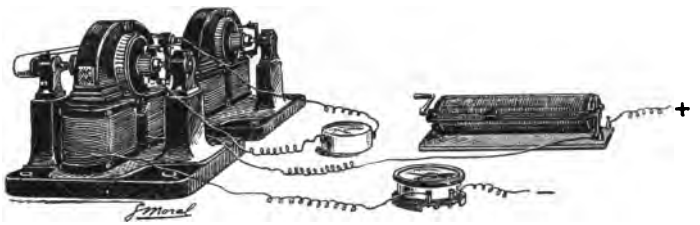


Fig. 438.

Kraft als Funktion der Stärke des Magnetschenkelstromes (Erregerstromes) darstellt. Diese Kurve wird die Charakteristik oder die Magnetisierungskurve der Maschine bei geöffnetem Stromkreis genannt. Welche Bedeutung hat, falls die Kurve nicht im Koordinatenzentrum, sondern mit einem positiven Wert anfängt, dieser Wert (70, 4)? Wie ist der erste Anstieg der Kurve und ihr weiterer Verlauf?

2. Man lasse die Stärke des Erregerstromes konstant, ändere aber mit Hilfe der treibenden Kraftmaschine die Umdrehungszahl. Man zeichne die Kurve, welche die elektromotorische Kraft als Funktion der Umdrehungszahl darstellt. Welche Gestalt hat diese Kurve?

3. Man benutze die in den letzten Versuchen gefundene Proportionalität zwischen elektromotorischer Kraft und Umdrehungszahl, indem man die zuerst ausgeführten Versuche für verschiedene Umdrehungsgeschwindigkeiten wiederholt und das Verhältnis der elektromotorischen Kraft zur Umdrehungszahl für jede Feldstärke berechnet. Man zeichne eine Kurve, welche diese Verhältnisse als Ordinaten und die Stromstärken als Abszissen enthält. Diese Kurve, welche also die Charakteristik für die Umdrehungszahl Eins darstellt, kann als die Kurve des wirksamen Magnetismus bezeichnet werden.

261. Die charakteristische Kurve einer Dynamomaschine mit Fremderregung bei geschlossenem Stromkreis. 1. Man schließe bei der vorigen Versuchsanordnung den Stromkreis der Ankerwicklung und lege auch in dessen Kreis einen Rheostaten und ein Ampèremeter. Mit Hilfe der Rheostaten des die Maschine treibenden Motors wähle man eine geeignete Umdrehungsgeschwindigkeit und achte darauf, daß die Stärke des magnetisierenden Stromes konstant bleibt. Man ändere die Stärke des Ankerstromes, indem man verschiedene Widerstände in die Nutzleitung einschaltet, messe jedesmal diese Stromstärke und die Klemmenspannung und zeichne die Kurve,

welche letztere als Funktion der ersteren darstellt, die „äußere Charakteristik" der Maschine.

2. Man bestimme den Widerstand der Ankerwindungen unter Anwendung der Wheatstoneschen Brücke oder schicke durch die Windungen bei festgehaltenem Anker und geöffnetem Erregerstrom irgendeinen Strom, messe Stromstärke und Klemmenspannung und berechne nach dem Ohmschen Gesetz den gesuchten Widerstand w_a. Dann wiederhole man die ersten Versuche, bestimme aus dem Produkt von der Stromstärke J und dem Widerstand w_a den Spannungsverlust $J\,w_a$ im Anker, messe jedesmal die Klemmenspannung e und berechne für die verschiedenen Stromstärken die in den Ankerwindungen erzeugte elektromotorische Kraft E aus der Summe der beobachteten Klemmenspannung und des berechneten Spannungsverlustes. Man zeichne die Kurve, welche die elektromotorische Kraft als Funktion der Stromstärke darstellt.

3. Man vergleiche die für die elektromotorische Kraft gefundenen Werte mit den entsprechenden bei der Leerarbeit, d. h. bei geöffnetem Stromkreis (260), gefundenen Werten. Welche Werte sind die größeren? Die Differenz wird die Ankerrückwirkung genannt, weil die zwischen den Polschuhen liegenden Ankerwindungen selbst ein Magnetfeld erzeugen und dieses das ursprüngliche Feld (Fig. 439) derart verändert Fig. 440), daß die Kraftlinien desselben von dem Teil des Polschuhes,

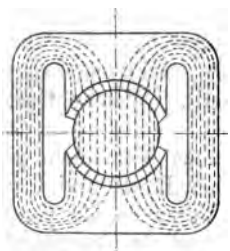


Fig. 439.

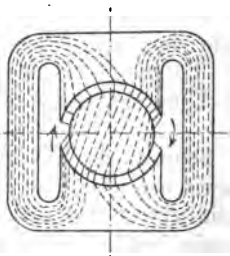


Fig. 440.

welcher der Drehung des Ankers entgegenliegt, weg nach dem Teil hin zusammengedrängt werden, wo der Ankerumfang den Polschuh verläßt. Um sich diese Erscheinung klar zu machen, bestimme man für die unterhalb eines Polschuhes liegenden Ankerdrähte die Stromrichtung in diesen, das ursprüngliche Magnetfeld und den zugehörigen Drehungssinn. An welchem Teil des Polschuhes ist das Feld des Ankers gegen das ursprüngliche Feld gerichtet, an welchem ihm gleichgerichtet? — Man zeichne die Kurve, welche die Abhängigkeit der Ankerrückwirkung von der Stromstärke zeigt. — Eine weitere Folge der Ankerrückwirkung ist die „Bürstenverschiebung". Die Bürsten, welche bei Stromlosigkeit in der Symmetrieebene zwischen beiden Polschuhen aufliegen, würden eine Ankerspule, welche in der Symmetrieebene der Polschuhe noch Kraftlinien schneidet (vergl. Fig. 440)

und demnach noch eine elektromotorische Kraft entwickelt, kurz schließen (Fig. 441) können, wodurch der Anker erhitzt und der Kollektor infolge der Funkenbildung zerstört werden würde. Man achte daher bei sämtlichen Versuchen darauf, daß die Bürsten eine solche Lage erhalten, daß keine Funken entstehen. Man beachte, daß die Lage der Bürsten sich mit zunehmender Stromstärke ändert; im Sinne der Bewegung des Ankers oder im entgegengesetzten Sinne? Welchen Einfluß hat diese Bürstenverschiebung auf die Klemmenspannung?

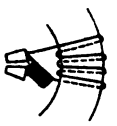


Fig. 441.

262. Die charakteristische Kurve einer Hauptschlußmaschine. Man schalte in den Stromkreis einen Rheostaten und ein Ampèremeter und ermittele in derselben Weise wie bei den vorigen Versuchen für irgendeine konstante Rotationsgeschwindigkeit des Ankers durch Einschaltung verschiedener äußerer Widerstände die Stromstärken und die zugehörigen Klemmenspannungen und zeichne wieder die äußere Charakteristik.

Man ermittele die Werte der elektromotorischen Kräfte, indem man die Summe der beobachteten Klemmenspannung und des nach Messung des Gesamtwiderstandes der Maschine innerhalb der Klemmen berechneten Spannungsverlustes bildet. Man zeichne die Kurve, welche die elektromotorische Kraft als Funktion der Stromstärke darstellt.

Man verbinde irgendeinen Punkt der zuletzt gezeichneten Charakteristik der Maschine für eine bestimmte Umdrehungszahl mit dem Koordinatenanfangspunkt. Welche Bedeutung hat die trigonometrische Tangente dieses Winkels für den ganzen Stromkreis? Man trage im Zentrum an die Abszissenachse einen Winkel α an, so daß $\operatorname{tg}\alpha = w_a$, dem Widerstand des Ankers, ist, und bestimme für den dadurch gefundenen Kurvenpunkt die zugehörigen Koordinaten. Welche Bedeutuug haben diese beiden Größen? Man beachte hierzu, daß nur der Ankerwiderstand eingetragen, der Widerstand der Nutzleitung also Null, d. h. Kurzschluß vorhanden ist.

Welche Bedeutung hat das Stück der zuerst gezeichneten Ordinate, welches zwischen der Kurve und der nach dem zweiten Kurvenpunkte gezogenen Verbindungslinie liegt? Um diese Frage zu beantworten, bedenke man, daß die Klemmenspannung $e = E - Jw_a$ ist und daß $\operatorname{tg}\alpha = w_a$ in die Zeichnung eingetragen ist. Man bestimme aus der Kurve, welchen Wert die Klemmenspannung für verschiedene Stromstärken hat, mit welchem Werte sie bei sehr großem Widerstande beginnt, daß sie bei einer gewissen Stromstärke ein Maximum erreicht, dann wieder abnimmt und welchen Wert sie wieder bei Kurzschluß annimmt.

263. Die charakteristische Kurve einer Nebenschlußmaschine. 1. Man lege sowohl in den Stromkreis der Magnetwicklung, wie in denjenigen der Nutzleitung einen Rheostaten und ein Ampèremeter

(Fig. 442) und lasse die Maschine mit konstanter Rotationsgeschwindigkeit laufen. Man messe gleichzeitig die durch die beiden Ampèremeter angezeigten Stromstärken, ferner am Voltmeter die Klemmenspannung für verschiedene Werte des anfänglich großen Widerstandes der Nutzleitung und trage die Werte der Klemmenspannung als Ordinaten, die der Stärke des Stromes der Nutzleitung als Abszissen in Koordinatenpapier ein.

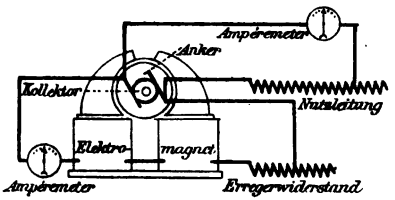


Fig. 442.

2. Man bestimme aus den gemessenen Stromstärken die Stromstärke im Anker (177) und nach Messung des Widerstandes der Ankerwindungen den Spannungsverlust im Anker (251, 3). Aus diesem Verlust und der beobachteten Klemmenspannug berechne man die im Anker erzeugte elektromotorische Kraft. Man zeichne die Kurve, welche die Werte der letzteren als Ordinaten, die der zugehörigen Stromstärke der Nutzleitung als Abszissen enthält. — Man bestimme für die einzelnen Versuche die Rückwirkung des Ankers (261, 3) aus den berechneten Werten der elektromotorischen Kraft und den entsprechenden Werten derselben bei der Leerarbeit (260).

Welche Erscheinung beobachtet man, wenn man bei den ausgeführten Versuchen den Widerstand der Nutzleitung immer *kleiner* macht?

264. Der Trommelanker als Motor. Magnetelektrische Maschine. 1. Man wiederhole den ersten Versuch aus Nr. 250 und beobachte, wie der in die eine Kollektorbürste eintretende Strom sich in zwei Zweige teilt, welche sich in der zweiten Kollektorbürste wieder vereinigen, der Anker also zu einem Elektromagnet wird. Man stelle *N*- und *S*-Pol fest. Dann bringe man den Magnet wieder an seinen Ort und wiederhole den Versuch. In welcher Richtung muß der Anker sich bewegen? Man vergleiche, gemäß der Lenzschen Regel (231), diese Richtung mit derjenigen, in welcher der Anker gedreht werden muß, wenn ein Strom von derselben Richtung erzeugt werden soll, wie derjenige hat, welcher jetzt in die Ankerwindungen geschickt wird.

2. Man schalte in die elektrische Leitung nebeneinander einerseits den Motor nebst einem Ampèremeter, andrerseits ein Voltmeter und eine Glühlampe und bringe den Strom durch einen Regulierwiderstand auf eine dem Motor angemessene Stromstärke. Man lasse den Motor zuerst leer und zwar ziemlich schnell laufen. Wie leuchtet die Glühlampe? Zeigt das Voltmeter hohe oder niedrige Spannung an? Dann wirke man mit der Hand auf die Achse ein, so daß der Anker schneller läuft. Welcher Einfluß zeigt sich auf Glühlampe und Voltmeter? Dann hemme man den Motor, etwa durch Andrücken eines Holzklotzes, und beobachte wieder Lampe und Volt-

meter. Zur Erklärung dieser Erscheinungen beachte man, daß nach den früheren Versuchen der sich drehende Motor durch das Schneiden der Kraftlinien eine elektromotorische Gegenkraft erzeugt. In welcher Beziehung steht diese zur Geschwindigkeit des Motors? — Man halte den Motor mechanisch schließlich ganz an und drehe ihn dann in entgegengesetztem Sinne. Wie verhalten sich Glühlampe und Voltmeter?

265. Drehungsrichtung eines Hauptschlußmotors. 1. Man lasse den Motor als stromerzeugende Dynamomaschine wirken und bestimme die Drehungsrichtung des Ankers und die Stromrichtung. Dann benutze man die Maschine als Motor, indem man dem ihn speisenden Strom die eben beobachtete Richtung gibt. In welcher Richtung muß nach dem Lenzschen Gesetz der Anker jetzt laufen? Wie verhalten sich also die Drehungsrichtungen des Ankers einer Hauptschlußmaschine bei ihrer Benutzung als Dynamo und als Motor zueinander?

2. Man lasse den Motor für irgendeine Richtung des ihn speisenden Stromes laufen und bestimme die Stromrichtung im Anker und in der Magnetwicklung. Dann vertausche man die Anschlußdrähte des Motors. Wie ändern sich die eben beobachteten Stromrichtungen und die Drehungsrichtung des Motors? Welchen Einfluß hat also die Richtung der zugeführten Stromes auf die Drehungsrichtung?

266. Drehungsrichtung eines Nebenschlußmotors. 1. Man lasse den Motor als stromerzeugende Dynamomaschine wirken und bestimme die Drehungsrichtung des Ankers und die Stromrichtung. Dann benutze man die Maschine als Motor, indem man dem speisenden Strom dieselbe Richtung gibt, wie im ersten Versuch beobachtet wurde. In welcher Richtung muß nach dem Lenzschen Gesetz (231) der Anker jetzt laufen? In welcher Beziehung steht also bei der Nebenschlußmaschine die Drehungsrichtung des Ankers als Stromerzeuger zu derjenigen als Motor? Man vergleiche diese Erscheinung mit der entsprechenden der Hauptstrommaschine.

2. Man lasse den Motor für irgend eine Richtung des ihn speisenden Stromes laufen und bestimme die Stromrichtung im Anker und in der Magnetwicklung. Dann vertausche man die Anschlußdrähte des Motors. Wie ändern sich die eben beobachteten Stromrichtungen? Welchen Einfluß hat also bei einem Nebenschlußmotor die Umkehr von Magnetfeld und Ankerstrom nach der Linkenhandregel (212, 1) auf die Drehungsrichtung des Ankers? Man vergleiche in dieser Beziehung einen Hauptschluß- mit einem Nebenschlußmotor.

267. Leerlauf eines Motors mit Fremderregung. Man lege sowohl in den Stromkreis der Magnetwicklung, als auch in den des Ankers ein Ampèremeter; die Polklemmen verbinde man mit einem Voltmeter. Man schließe den Motor an eine Leitung von konstanter Spannung E. Beim Ingangsetzen des Motors schließe man stets zuerst den Erregerstromkreis.

1. Man bestimme zunächst den Widerstand w_a des Ankers entweder mit Hilfe der Wheatstoneschen Brücke oder indem man

nach Lösung der Verbindung beider Stromkreise durch die Ankerwindungen bei festgehaltenem Anker einen Strom schickt, Ampèremeter und Voltmeter beobachtet und nach dem Ohmschen Gesetz verfährt (172). Dann setze man nach Wiederherstellung der Verbindungen den Motor in Gang, indem man mit Hilfe des Feldregulierwiderstandes das Magnetfeld ziemlich schwach macht; man lasse den Motor mit normaler Geschwindigkeit laufen. Man bestimme den Spannungsverlust Jw_a im Anker und berechne die durch das Magnetfeld im Anker erzeugte elektromotorische Gegenkraft e gemäß der Beziehung $e = E - Jw_a$. Man wiederhole den Versuch, indem man das Magnetfeld allmählich immer stärker macht, dagegen die Drehgeschwindigkeit unverändert läßt, und berechne jedesmal die elektromotorische Gegenkraft. Man zeichne die Kurve, welche die elektromotorische Gegenkraft als Funktion der Stärke des Erregerstromes darstellt. Man kann auch an Stelle der elektromotorischen Gegenkraft das Verhältnis derselben zur Umdrehungszahl in das Koordinatenpapier einzeichnen, wodurch der Einfluß von Änderungen der Umdrehungszahl auf die Gestalt der Kurve beseitigt wird. — Man vergleiche die Kurve mit der in Nr. 260 gefundenen Charakteristik der als Dynamo wirkenden Maschine bei offenem Stromkreis.

2. Man wiederhole die Versuche derart, das man das Magnetfeld unverändert läßt und mit Hilfe des Rheostaten der Speiseleitung des Ankers die Umdrehungszahl ändert. Man berechne jedesmal die elektromotorische Gegenkraft und zeichne dann die Kurve, welche sie als Funktion der Umdrehungszahl darstellt. Welche Gestalt hat diese Kurve nahezu?

3. Man stelle eine Reihe von Versuchen an, in welchen man die Stärke des Magnetfeldes ändert, aber durch Änderung der Umdrehungszahl doch die elektromotorische Gegenkraft konstant erhält. Man zeichne die Kurve, welche als Abszissen die Umdrehungszahl, als Ordinaten das Verhältnis der Gegenkraft zu dieser Umdrehungszahl enthält. Man vergleiche die Kurve mit der vorher gefundenen Magnetisierungskurve.

268. Energieverluste beim Leerlauf. 1. Man lasse bei der in der vorigen Nummer angegebenen Versuchsanordnung den Motor für eine bestimmte Umdrehungszahl und eine bestimmte Stärke des Magnetfeldes leer gehen, messe Klemmenspannung und Stromstärke und berechne aus dem Produkt beider die von der Stromquelle dem Motor zugeführte Energie. Dann berechne man die im Motor als Joulesche Wärme verzehrte Energie aus dem Produkt des Widerstandes des Motors und dem Quadrat der Stromstärke, d. h. also $i_a^2 w_a + i_m^2 w_m$, wenn mit diesen Größen Stromstärke und Widerstand im Anker bzw. in der Magnetwicklung bezeichnet werden. Die Differenz beider Resultate gibt den durch Foucaultsche Wärme (236), Hysteresis des Eisens und Reibung hervorgerufenen Energieverlust.

2. Man berechne in derselben Weise den Energieverlust des Motors, d. h. die ihm, ohne daß er belastet ist, zugeführte Energie,

wenn man die Stärke des Magnetfeldes unverändert hält, bei verschiedenen, allmählich zunehmenden Umdrehungsgeschwindigkeiten für eine Umdrehung und vergleiche die gefundenen Werte miteinander.

3. Man lasse umgekehrt die Umdrehungszahl konstant und ändere das Magnetfeld. Man zeichne die Kurve für eine Umdrehung, welche die berechneten Energieverluste als Ordinaten und das Verhältnis der gegenelektromotorischen Kraft zur Umdrehungszahl als Abszissen enthält.

269. Das Verhalten des Hauptschlußmotors bei zunehmender Belastung. Man lege den Motor an eine Leitung von konstanter Spannung; in die Leitung schalte man ein Ampèremeter. Um den Motor zu belasten, lasse man ihn eine Dynamomaschine treiben; man kann bei dieser Anordnung die Belastung leicht ändern, indem man im Stromkreis der Dynamomaschine durch Einschaltung größeren Widerstandes, z. B. einer veränderlichen Anzahl von Glühlampen (171) mehr Energie als Joulesche Wärme verzehren läßt.

Man lasse den Motor zunächst mit geringer Belastung laufen und bestimme Umdrehungszahl und Stromstärke. Dann vergrößere man die Belastung. Wie ändern sich die Umdrehungszahl und demnach die elektromotorische Gegenkraft und die Stromstärke? — Wäre der Wirkungsgrad der Dynamomaschine bekannt, so könnte man aus ihm und der gemessenen Stromenergie ($J^2 W$ oder JE), welche verzehrt wird, die Belastung berechnen und dann eine Kurve zeichnen, welche die Belastung als Abszisse, die Umdrehungszahl als Ordinate enthält.

270. Das Verhalten des Nebenschlußmotors bei zunehmender Belastung. Man lege den Motor an eine Leitung von konstanter Spannung, indem man sowohl die Feldmagnete als auch den Anker mit den Polen der Leitung verbindet, so daß Feldmagnete und Anker nebeneinander liegen. In jede dieser beiden Zuführungen von der Hauptleitung zum Motor schalte man ein Ampèremeter. Um den Motor zu belasten, lasse man ihn, wie in der vorigen Nummer angegeben, eine Dynamomaschine treiben. Das Magnetfeld halte man konstant (258, 3).

Man lasse den Motor zunächst leer laufen und bestimme die Umdrehungszahl und aus den an beiden Ampèremetern abgelesenen Stromstärken die Stromstärke des Ankerstromes (258, 2). Dann vergrößere man allmählich die Belastung. Wie ändern sich die Umdrehungszahl und demnach die elektromotorische Gegenkraft und die Stromstärke? Ändert sich die Umdrehungszahl bedeutend von Nullbelastung bis auf Vollbelastung? Man berechne diese Änderung in Prozenten. Man zeichne die beiden Kurven, welche die Umdrehungszahl bzw. die Stromstärke als Funktion der von der Stromquelle zugeführten Energie, dem Produkt aus Klemmenspannung und Stromstärke, darstellt.

Man vergleiche das Verhalten des Nebenschlußmotors mit dem des Hauptschlußmotors.

271. Ankerrückwirkung eines Nebenschlußmotors. Man wiederhole die in der vorigen Nummer ausgeführten Versuche und berechne für jede Belastung die elektromotorische Gegenkraft aus der Differenz der angelegten Spannung und des durch Überwindung des Ankerwiderstandes hervorgerufenen, aus dem Produkt der Klemmenspannung und der Ankerstromstärke (270) zu berechnenden Spannungsverlustes. Man vergleiche die gefundenen Werte mit den bei gleicher Umdrehungszahl und gleicher Stärke des Magnetfeldes geltenden Werten bei der Leerlaufsarbeit. Der Unterschied rührt von der Ankerrückwirkung (261, s) her.

272. Regulierung der Umdrehungsgeschwindigkeit eines Nebenschlußmotors. Um für zunehmende Belastung doch die Umdrehungszahl konstant zu erhalten (270), bzw. nach Belieben ändern zu können, legt man in die Magnetwicklung, die Nebenschlußwicklung, einen Regulierwiderstand (vergl. *W* Fig. 433). Man lasse die Belastung allmählich zunehmen und halte die Umdrehungszahl konstant, indem man mit Hilfe des Regulierwiderstandes das Magnetfeld ändert. Man zeichne die Kurve, welche die Stärke des magnetisierenden Stromes als Funktion des Ankerstromes (271) darstellt. Welche Gestalt hat diese Kurve nahezu?

273. Bremsung eines (Nebenschluß-)Motors. Man benutze die in I, Nr. 53 angegebene Versuchsanordnung und berechne für jeden Versuch die von dem Motor geleistete Arbeit.

1. Abhängigkeit von der Stärke des Ankerstromes. Man lasse das Magnetfeld konstant und berechne die Arbeit für verschiedene Stärken des Ankerstromes (271). Man zeichne die Kurve, welche die vom Motor geleistete Arbeit als Funktion der Ankerstromstärke darstellt. Sind beide Größen proportional?

2. Abhängigkeit vom Magnetfeld. Man lasse die Ankerstromstärke konstant und ändere das Magnetfeld. Man suche die Beziehung zwischen der vom Motor geleisteten Arbeit und der Stärke des Erregerstromes.

Bezeichnet man mit A die vom Motor geleistete Arbeit, mit i_a und i_m die Stärke der Ströme in beiden Wicklungen und mit k eine Konstante, wie lautet dann die Beziehung zwischen diesen Größen?

3. Bürstenverschiebung. Man bestimme die vom Motor geleistete Arbeit für zwei beliebige Werte der Stärke des Anker- und des Erregerstromes, wenn die Bürsten in der zu den Magnetpolen rechtwinkligen Symmetrieebene schleifen. Dann verschiebe man die Bürsten allmählich, bis sie schließlich eine Drehung von 90 Grad vollbracht haben, und bestimme jedesmal die Arbeit. In welchem Falle ist diese ein Maximum, in welchem Null? Man verschiebe die Bürsten weiter und achte auf die Bewegung des Wagebalkens.

274. Wirkungsgrad eines Nebenschlußmotors. Man lasse den Motor mit einer bestimmten Umdrehungszahl und für eine bestimmte

Stärke des Magnetfeldes unter Belastung laufen und berechne die dem Motor in der Sekunde zugeführte Energie, indem man die Klemmenspannung mittels eines mit den Klemmen verbundenen Voltmeters, die Stromstärke mittels eines in den Zuführungskreis geschalteten Ampèremeters mißt und das Produkt beider Werte bestimmt. Diese Energie wird nur zum Teil vom Motor als Arbeit abgegeben, Nutzleistung, zum andern Teil wird sie im Anker und in den Magneten in Joulesche Wärme umgesetzt oder geht durch mechanische Reibung, Foucaultsche Wärme und Hysteresis des Eisens verloren. Man berechne mit Hilfe des Pronyschen Zaumes (I, 53) die vom Motor in einer Sekunde geleistete Arbeit und bestimme das Verhältnis der dem Motor zugeführten Energie zu der von ihm geleisteten Arbeit, den Wirkungsgrad des Motors.

Kann man nicht den mechanischen Effekt messen, so behilft man sich mit der Berechnung der Verluste. Man bestimme aus der Stromstärke und dem Widerstand des Ankers und der Magnetwicklung die Joulesche Wärme, $i_a^2 w_a + i_m^2 w_m$, und füge zu diesem Wert den durch Reibung, Foucaultsche Wärme und Hysteresis des Eisens hervorgerufenen Verlust; dieser Verlust wird, wie in Nr. 268 angegeben, für die Leerlaufsarbeit berechnet, indem man dieselbe Stärke des Magnetfeldes und dieselbe Umdrehungszahl beibehält.

275. Wirkungsgrad einer Dynamomaschine. 1. Hauptschlußmaschine. Man messe die Stromstärke J in der Nutzleitung und die Klemmenspannung e und berechne aus dem Produkt eJ beider den Nutzeffekt. Man bestimme ferner die Widerstände der Anker- und der Magnetwicklung w_a bzw. w_m, indem man die Verbindung löst und wie in Nr. 261, 2 angegeben verfährt, und berechne den als Joulesche Wärme hervorgerufenen Energieverlust $J^2(w_a + w_m)$. Dann lasse man die Maschine für dieselben Werte von Umdrehungszahl und Magnetfeld als Motor leer laufen und berechne den durch Foucaultsche Ströme, Hysteresis und Reibung hervorgerufenen Energieverlust. Die Summe aller drei Berechnungen gibt den Totaleffekt. Man berechne das Verhältnis des Nutzeffektes zum Totaleffekt, den elektrischen Wirkungsgrad.

2. Nebenschlußmaschine. Man verfahre in ähnlicher Weise, wie für die Hauptschlußmaschine, indem man nur berücksichtigt, daß man die Stromstärke in den Magnetwindungen aus dem Verhältnis der Klemmenspannung zum Widerstand der Magnetwindungen zu berechnen hat und die Ankerstromstärke gleich der Summe der Stärken der Ströme in der Nutzleitung und in den Magnetwindungen ist.

276. Elektrizitätszähler. In Fig. 443 ist der zuerst von der amerikanischen Firma Thomson-Houston angegebene, in Deutschland von der Union Elektr.-Gesellsch. gebaute Zähler abgebildet. Es ist ein Elektromotor ohne Eisen, welcher eine Kupferscheibe zwischen Magnetpolen dreht. An Stelle der Feldmagnete eines Elektromotors besitzt der Apparat zwei Spulen von dickem Draht, zwischen welchen sich der Anker, gleichfalls ohne eisernen Kern, in Form einer Trommel

befindet; die vertikale Achse dieser Trommel setzt die Kupferscheibe in Bewegung und treibt dadurch mittels Zähnen die Räder, welche ihren Zeiger auf den Zifferblättern haben, an denen man direkt Wattstunden, bzw. je nach der Größe des Apparates Vielfache oder Bruchteile derselben ablesen kann. Wo wird die durch die Einwirkung von Feldmagnet und Anker geleistete Arbeit verbraucht (236, 5 u. 6)?

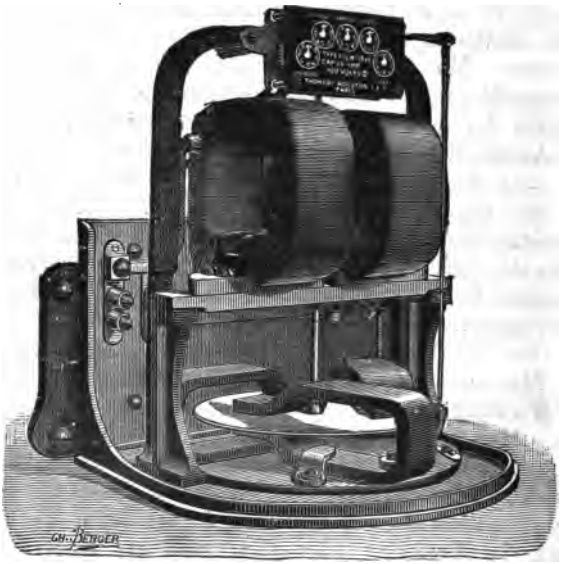


Fig. 443.

Die beiden Spulen schaltet man in die Hauptleitung, die Trommelwicklung zwischen die Leitung, zwischen denen die betreffende Spannung herrscht; vor diese Wicklung legt man noch einen Vorschaltwiderstand. Man beachte bei dieser Anordnung, daß die Trommelwicklung, weil sie eine große Zahl von Windungen aus dünnem Draht, also großen Widerstand besitzt, als Voltmeter, die Feldwicklung, aus wenigen dicken Drähten bestehend, als Ampèremeter, die Vereinigung beider also als Wattmeter (218) wirkt.

1. Man lasse die Spannung des z. B. von einer Dynamomaschine zugeführten Stromes konstant und suche die Abhängigkeit zwischen der Umdrehungszahl der Scheibe und der Stärke des magnetisierenden Stromes.

2. Man lasse die Stromstärke konstant und ändere die Klemmenspannung (257 und 258). Man suche die Beziehung zwischen der Umdrehungszahl der Scheibe und der Klemmenspannung.

277. Prinzip des Elektrizitätszählers von Aron. Man baue sich ein Pendel von ungefähr $^3/_4$ m Länge und befestige unten eine

Voltmeterspule, d. h. eine Spule aus vielen Windungen von dünnem Kupferdraht. Die Zuleitungen führe man am Pendel aufwärts und durch die Aufhängung nach draußen. Unter das Pendel stelle man eine Ampèremeterspule, d. h. eine Spule aus wenigen Windungen von dickem Kupferdraht. Wenn das Pendel in Ruhe hängt, sollen die Achsen beider Spulen in eine gerade Linie fallen. Die Ampèremeterspule wickelt man vorteilhaft nicht mit kreisförmigem Querschnitt, sondern mit elliptischem, dessen große Achse in der Richtung der Pendelschwingungen liegt.

Man bestimme die Schwingungsdauer des Pendels. Dann lasse man durch beide Spulen Ströme gehen, die voneinander unabhängig sind, und bestimme die Abhängigkeit der Schwingungsdauer von diesen beiden Strömen, indem man zuerst den einen, dann den anderen willkürlich ändert, während man den anderen konstant hält. Welche Abhängigkeit von beiden ergeben die Versuche?

Beim Gebrauch in der Praxis wird die am Pendel hängende Spule zwischen die beiden Drähte geschaltet, welche die Hin- und Rückleitung des elektrischen Stromes bilden, während die andere in die eine Leitung eingeschaltet wird; die erstere mißt also die Volt, die letztere die Ampère. Neben diesem Pendel hängt ein zweites, welches genau dieselbe Schwingungsdauer hat wie das erste, wenn kein Strom durchgeht. Durch eine eigenartige Zahnradverbindung, Planetenrad, wird das Zählwerk nur durch die Differenz der Schwingungen der beiden Pendel bewegt, ändert seine Stellung also nur, wenn ein Strom hindurchgeht. Die Zählung ist so eingerichtet, daß man direkt die Voltampèrestunden und ihre Vielfachen abliest.

278. Hitzdrahtgalvanometer. Ein ungefähr $^3/_4$ m langes und 25 cm hohes Brett versehe man so mit zwei Füßen, daß es auf seiner langen Schmalseite aufrecht stehen kann. In der Nähe der beiden oberen Ecken befestige man zwei Schrauben, über welche man einen dünnen Eisendraht, den Meßdraht, so spannt, daß er ungefähr 2 cm vom Brett entfernt frei in der Luft liegt. Über die Mitte dieses Drahtes hänge man einen kurzen Draht und an diesen einen Faden, welcher unten ein Gewicht trägt, das ihn spannt. Etwas seitwärts von diesem Faden schlage man in das Brett einen langen dünnen Nagel ohne Kopf, über welchen man einen durchbohrten und in seiner Durchbohrung mit einer Federpose versehenen Kork steckt, so daß er sich leicht und sicher auf dem Nagel drehen kann. Um diesen Kork schlinge man den vom Draht herunterhängenden Faden und befestige am Kork einen leichten Zeiger aus einem Strohhalm oder dünnem Aluminiumdraht, welcher vor einer Skala spielt. An Stelle des Korkes kann man auch eine kleine leichte Metallscheibe nehmen.

Man schalte den Meßdraht gleichzeitig mit einem Ampèremeter, einem veränderlichen Widerstand und einem Unterbrecher in den Stromkreis einer konstanten Batterie. Man schließe den Stromkreis

und beobachte den Zeiger. Warum bewegt er sich (202 und I. 174)? Wann hört bei geschlossenem Strom seine Bewegung auf (202 und I. 223)?

Man ändere mit Hilfe des Widerstandes die Stromstärke und eiche durch gleichzeitiges Ablesen von Ampèremeter und Hitzdrahtgalvanometer dieses letztere über seine ganze Skala.

Die in der Praxis gebrauchten Hitzdrahtmeßinstrumente der Firma Hartmann & Braun in Frankfurt a. M. (Fig. 444), welche sowohl als Ampère- als auch als Voltmeter ausgeführt werden, sind natürlich nicht so einfach gebaut. Zunächst ist dafür gesorgt, daß die Spannung des Drahtes unabhängig ist von der Temperatur der

Fig. 444.

Umgebung, indem die Befestigungspunkte des Drahtes so im Instrument angebracht sind, daß ihre Entfernung voneinander sich in demselben Maße mit der Temperatur ändert, wie die Länge des Drahtes. Der Zeiger bleibt also bei sämtlichen Zimmertemperaturen auf Null stehen, wenn kein Strom durch das Instrument fließt. Dann sind vielfach mehrere Drähte derart miteinander verbunden, daß die immerhin nur geringen Längenänderungen der einzelnen Drähte sich gegenseitig unterstützen, und die Spannung des Fadens wird, damit das Instrument in jeder Lage gebraucht werden kann, meist durch eine Feder, nicht durch ein Gewicht bewirkt.

Um sehr starke Ströme messen zu können, wird der Draht in Nebenschluß zu einem Widerstand gelegt, welcher in einem bekannten Verhältnis zum Widerstand des Drahtes steht.

279. Stromstärke eines Wechselstromes. In ein kleines Holzbrettchen schneide man drei flache kreisförmige Rinnen. Die äußere, von ungefähr 6 bis 8 cm Durchmesser, teile man durch zwei niedrige Scheidewände in zwei Halbkreise. Von den beiden inneren Rinnen und den beiden Teilen der äußeren bohre man Löcher durch das Brett, in welche man von unten her Kupferdrähte einkittet, deren Enden gerade bis an den Boden der Rinnen reichen. Außerhalb der drei Rinnen bohre man noch einmal vier Löcher durch das Brett, durch welche man die anderen Enden der vier Kupferdrähte wieder nach oben zurückführt, und setze auf diese Klemmschrauben. Auf der Unterseite des Brettes versenke man die Drähte, damit das Brett glatt liegen kann. In den Mittelpunkt der drei Ringe setze man einen kleinen Stift, über den man einen Hartgummistab horizontal legt, der etwas länger ist als der Durchmesser des größten Ringes und der sich leicht um den Stift drehen kann. An dem Hartgummistab befestige man zwei ⊓förmig gebogene Kupferbügel, von denen der eine in die äußerste und die mittlere, der andere in die äußerste und die innerste Rinne taucht. Die herunterhängenden Enden der Bügel mache man so lang, daß, wenn die Rinnen mit Quecksilber gefüllt sind, sie zwar in dieses eintauchen, aber noch bequem über die Scheidewände des äußersten Ringes hinweggleiten. Vermöge seiner Oberflächenspannung (I. 92) steht die Oberfläche des Quecksilbers höher als die Scheidewände der äußeren Rinne.

Die zu den beiden inneren Ringen führenden Klemmschrauben verbinde man unter Zwischenschaltung eines Stromschlüssels mit den Polen einer konstanten Batterie, z. B. zwei Akkumulatoren oder vier Daniells; die nach den beiden Hälften des äußeren Ringes führenden mit einem induktionsfreien (235, 4), veränderlichen Widerstand. Man schalte zunächst in den die Batterie enthaltenden Teil des Stromkreises hintereinander ein Wasservoltameter (154, 1), ein Ampèremeter (163 und 164), ein Elektrodynamometer (217) und ein Hitzdrahtgalvanometer (278) und vergleiche für verschiedene Werte des im anderen Teile des Stromkreises liegenden Widerstandes die Angaben dieser Strommesser miteinander, wenn der Hartgummistab mit konstanter Geschwindigkeit über den Quecksilberrinnen rotiert; man beachte namentlich die in den beiden Röhren des Voltameters entstehenden Gasmengen und ihr Verhältnis zueinander.

Man schalte dann die vier Meßapparate in den den Widerstand enthaltenden Teil des Stromkreises und beobachte wieder ihre Angaben, wenn sich der Hartgummistab mit derselben Geschwindigkeit dreht und derselbe Widerstand eingeschaltet ist wie bei der vorigen Anordnung der Apparate. Welche Angaben erhält man jetzt aus den Meßinstrumenten? Welche Instrumente zeigen denselben Strom, welches gar keinen? In welchem Verhältnis stehen die Gasmengen in den beiden Röhren des Voltameters? Um festzustellen, daß sich am Strom selbst nichts geändert hat, schalte man das eine oder das andere Instrument wieder zurück in den ersten Teil des Stromkreises.

Man verfolge bei einer bestimmten Stellung des Hartgummistabes den Strom durch seinen ganzen Weg, drehe dann den Stab um 180^0 und verfolge wieder den Strom; wie verläuft der Strom jetzt in den beiden Teilen des Stromkreises im Vergleich zu vorher. Welche Eigenschaft hat also die Richtung des Stromes in dem den Widerstand enthaltenden Teil, wenn der Hartgummistab rotiert? Welche Instrumente eignen sich also gut zur Messung von Wechselströmen, welches gar nicht? Man vergleiche hiermit die Abhängigkeit der Ausschläge von der Stromstärke einerseits beim Ampèremeter und andrerseits beim Dynamometer und Hitzdrahtgalvanometer.

Man bezeichnet dementsprechend als mittlere Stromstärke eines Wechselstromes diejenige Stärke eines konstanten Stromes, deren Quadrat gleich dem Mittelwerte der Quadrate der momentanen Stromstärken des Wechselstromes ist.

280. Dynamomaschine für Wechselstrom. 1. Man bringe bei dem in Nr. 255 besprochenen Zylinderinduktor außer dem zweiteiligen Kollektor zwei gegen die Achse isolierte Ringe an, auf denen man die Bürsten schleifen läßt. Mit diesen Schleifringen verbinde man die freien Enden der Drahtwicklung, bzw. die beiden Kollektorlamellen, an denen die Drähte bereits festgelötet sind. Muß bei dieser Anordnung, wenn die Bürsten mit einem äußeren Stromkreise verbunden sind, bei dauernder Drehung in diesem Kreise ein Gleich- oder Wechselstrom fließen? Wodurch sind die beiden Teile oder „Phasen“ dieses Wechselstromes bei der in Nr. 255 benutzten Anordnung in zwei gleichgerichtete Phasen verwandelt worden, so daß also im äußeren Stromkreis Gleichstrom floß?

Man verbinde die Bürsten unter Einschaltung einer Verzweigungsvorrichtung mit einem Spiegelgalvanometer, drehe die Kurbel ganz langsam und beachte die Richtung der Ausschläge des Lichtzeigers. — Man kann auch wie in Nr. 250, s das Vorhandensein des Wechselstromes durch ein Telephon nachweisen. Das Vorhandensein eines Stromes selbst zeigt eine Glühlampe.

2. Man verbinde am Trommel- oder Ringanker zwei einander diametral gegenüberliegende Stellen der Wicklung, die also gleiche Drahtlängen einschließen, mittels Kupferdrähte mit zwei auf der Achse isoliert angebrachten Schleifringen. Man bestimme in ähnlicher Weise wie bei den Versuchen mit den magnetelektrischen Maschinen den Stromlauf in den beiden Zweigen, je nachdem die beiden mit den Schleifringen verbundenen Stellen der Wicklung abwechselnd in der Symmetrieebene zwischen den beiden Polen oder senkrecht dazu stehen, und wie zwischen den Umkehrpunkten der Stromrichtung der Strom in seiner Stärke ansteigt und wieder abfällt.

Man zeige das Vorhandensein des Wechselstromes wie im ersten Versuch.

281. Einphasenstrom. Zweiphasenstrom. Dreiphasenstrom. 1. Man führe die freien Enden von zwei einander diametral gegenüberliegenden Spulen des Grammeschen Ringes oder des Trommel-

ankers, die man verbunden hat, zu zwei Schleifringen auf der Achse. Man bestimme, wie in Nr. 280 den Stromlauf bei andauernder Drehung und weise den Wechselstrom durch Galvanometer oder Telephon nach (Einphasenstrom).

2. Man verfahre ebenso mit zwei anderen Spulen, die nur 90 Grad von den ersten abstehen. Man zeige, daß das erste Spulenpaar sich im Maximum der Induktion befindet, wenn das zweite gerade an den Indifferenzstellen ist. Wieviel Grad beträgt also der Phasenunterschied? Man nennt eine im Prinzip so gebaute Maschine eine Zweiphasenstrommaschine; dieselbe besitzt vier Schleifringe, für jedes Spulenpaar zwei. Diese Maschine liefert also zwei unabhängige Ströme. Werden zwei von den vier Drähten vereinigt, so entstehen zwei voneinander abhängige Ströme mit gemeinsamer Rückleitung. Man weise beide Ströme in derselben Weise wie vorher nach.

3. Man kann auch drei gleichmäßig auf dem Ringe verteilte Spulen mit ihren freien Enden zu sechs Schleifringen führen, so daß man drei getrennte Stromkreise hat; wie groß ist die Phasendifferenz derselben. Meist werden aber die drei Stromdrähte schon auf dem Anker selbst miteinander vereinigt; man verbindet die drei Anfänge der Spulen so, daß sie die Ecken eines Dreiecks bilden (Dreieckschaltung), oder alle drei miteinander (Sternschaltung). Dann werden also nur die drei freien Enden der drei Spulen zu drei Schleifringen geführt (Fig. 445).

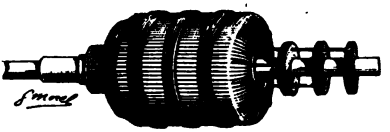


Fig. 445.

282. Prinzip der Drehstrommotoren. Man stelle sich zwei Drahtspulen her, indem man etwa je 100 Windungen eines etwa 0,5 mm dicken Drahtes zu einem Kreise von 10 cm aufwindet (Fig. 446). Die eine Spule schiebe man in die andere und stelle beide rechtwinklig zueinander. In die Mitte beider Ringe hänge man mittels Seidenfaden eine kleine Kupferplatte.

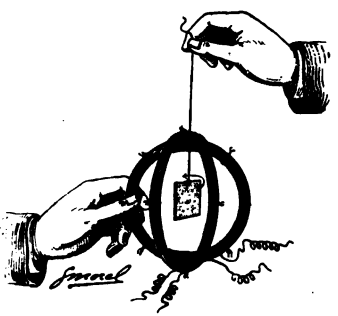


Fig. 446.

1. Man schicke zuerst durch die eine, dann durch die andere Spule einen Wechselstrom. Wie stellt sich in jedem Falle die Kupferplatte? Dann schicke man den Strom durch beide hintereinander geschaltete Spulen gleichzeitig. Wie stellt sich die Kupferplatte jetzt?

2. Man schalte beide Spulen einander parallel; in den einen Kreis bringe man einen Rheostaten, in den andern eine Hilfsspule von starker Selbstinduktion (235), z. B. einen Elektromagnet. Man reguliere die Widerstände derart, daß die Stromstärke in beiden Kreisen nahezu

dieselbe ist. Man schicke einen Strom von 1 bis 2 Ampères in den Apparat und beobachte die Rotation der Kupferplatte. Man untersuche, um diese Erscheinung zu erklären, die Rotation des Feldes. — Man kehre die Stromrichtung um und beobachte die Platte.

3. Man ersetze die Platte durch eine Magnetnadel und beachte, wie sie sich isochron mit dem Feld dreht.

283. Periode eines Wechselstromes. Man befestige einen kleinen Elektromagnet, etwa den einer elektrischen Klingel, wagerecht in der Mitte eines Lineals. Am Ende des Lineals bringe man eine Ringschraube an und an dieser einen feinen Eisendraht. Diesen führe man am Lineal entlang und am andern Ende durch eine zweite Ringschraube und spanne ihn durch ein passendes Gewicht. Die Mitte des Drahtes stehe etwa 1 cm vor dem Elektromagnet (Fig. 447). Man schicke den Wechselstrom unter Einschaltung eines Rheostaten durch den Elektromagnet und beobachte, wie der Eisendraht abwechselnd angezogen und losgelassen wird und dadurch in Schwingungen gerät. Man passe durch Anfassen des Drahtes die geeignete Drahtlänge ab, für welche die Eigenschwingungen des Drahtes mit der durch Anziehung erfolgten Bewegung übereinstimmen, indem man die Zu- oder Abnahme der Schwingungsamplitude beobachtet. In dem Augenblick der größten Amplitude messe man die Länge des schwingenden Teiles des Drahtes. Man bestimme die Periode der Schwingungen nach der Formel: $2L\sqrt{\frac{p}{gP}}$, in welcher die vorkommenden Größen die in I, Nr. 157 angegebene Bedeutung besitzen. Der doppelte Wert gibt die Periode des Wechselstromes.

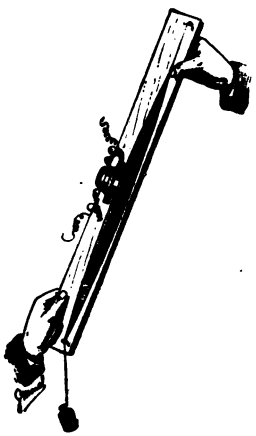


Fig. 447.

2. Man schicke den Wechselstrom durch eine elektrische Glühlampe mit feinem Faden und beobachte diesen durch eine stroboskopische Scheibe (I, 148). Man drehe die Scheibe so schnell, daß entweder der erhöhte oder der verminderte Glanz des Lichtes unverändert erscheint, und bestimme aus der Umdrehungszahl der Scheibe und der Zahl der Löcher die Periode des Wechselstromes.

284. Herstellung eines Transformators. Um einen Wechselstrom von geringer Spannung und großer Stromstärke in einen solchen von großer Spannung und kleiner Stromstärke umzuwandeln oder auch umgekehrt, bedient man sich der „Transformatoren". Man kann einen rotierenden Transformator mit geschlossenem Eisenkern aus dem Trommelanker oder dem Anker einer Dynamomaschine herstellen, indem man die Drahtwindungen an einer beliebigen Stelle

durchschneidet (Fig. 448). Man kann, da alle Drahtspulen in den Lamellen des Kollektors enden, nach Belieben für den primären oder für den sekundären Stromkreis die größere Zahl von Spulen wählen.

Einen ruhenden Transformator mit geschlossenem Eisenkern zeigt Fig. 449, in welcher die unten hervorragenden Drahtenden zu den beiden Spulen führen.

Einen Transformator mit offenem Eisenkern kann man sich herstellen, in-

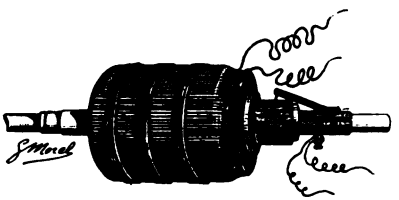


Fig. 448.

Fig. 449.

dem man eine größere Zahl langer, rechteckiger Blechplatten im Wechsel mit Papierscheiben (250) aufeinander legt, so daß sie in ihrer Gesamtheit einen Stab bilden, dessen Länge gleich der längeren Seite jeder Blechplatte ist. Um diesen Stab, rechtwinklig zu seiner Längsrichtung, lege man in etwa fünf Abteilungen (Fig. 450)

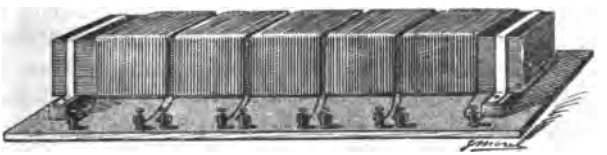


Fig. 450.

Windungen isolierten, 2 mm dicken Kupferdrahtes, so daß jede Abteilung dieselbe Zahl von Windungen besitzt; die freien Drahtenden führe man zu Klemmschrauben, welche auf dem den Eisenkern tragenden Brett befestigt sind, so daß man nach Belieben die einzelnen Gruppen für den primären bzw. den sekundären Strom benutzen kann.

285. Das Verhalten eines Transformators. Man lege sowohl in den primären, wie in den sekundären Stromkreis des Transformators einen induktionsfreien Rheostaten, ein Hitzdrahtampèremeter und einen Unterbrecher, ferner im Nebenschluß ein Hitzdrahtvoltmeter (Fig. 451). Verfügt man über ein Wattmeter oder einen Elektrizitätszähler, so lege man diesen in den primären Stromkreis.

1. Man lasse die Klemmenspannung des primären Stromes mit Hilfe des Rheostaten unverändert und erhöhe allmählich die

„Belastung" des Transformators, indem man den Widerstand des sekundären Stromkreises verringert. In welcher Beziehung steht die Stärke des sekundären Stromes — bei unveränderten Windungszahlen — zur Stärke des primären Stromes?

2. Man vergleiche das Verhältnis der beiden Stromstärken mit dem der beiden Windungszahlen. Man wiederhole diese Versuche, indem man das Verhältnis der Windungszahlen, den „Transformationskoeffizienten" ändert.

3. Man lasse den sekundären Strom geöffnet und ändere die Klemmenspannung des primären Stromes mit Hilfe des eingeschalteten Rheostaten. Man zeichne die Kurve, welche die elektromotorische

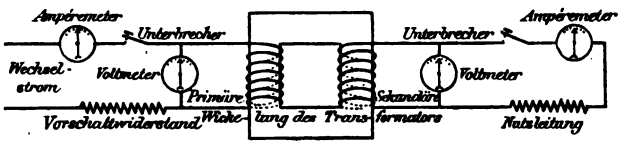


Fig. 451.

Kraft des sekundären Stromes als Funktion des primären darstellt. Man vergleiche diese Kurve mit der Magnetisierungskurve (260) des Eisens.

4. Man wiederhole die Versuche für verschiedene Verhältnisse der Windungszahlen und vergleiche das Verhältnis der *elektromotorischen* Kräfte mit dem Verhältnis der Windungszahlen.

5. Man messe den Effekt (254) des primären Stromes mit Hilfe des Wattmeters oder des Zählers, den sekundären Effekt durch Messung von Stromstärke und Klemmenspannung. Man bestimme für verschiedene Belastungen den Unterschied beider Effekte.

Verdienen die Transformatoren mit offenem oder mit geschlossenem Eisenkern den Vorzug? Man beachte zur Beantwortung dieser Frage, bei welchen Transformatoren alle entstehenden Kraftlinien im Eisen verlaufen bzw. zum Teil in die Luft eintreten. In welchem Falle findet also „Streuung" (257) der Kraftlinien statt? In welchem Falle müssen also die neu entstehenden oder die verschwindenden Kraftlinien durch die sekundäre Wicklung gehen und in dieser ohne Verlust Induktionsströme erzeugen?

TABELLEN.

1. Reziproke Werte, Quadrate, Quadratwurzeln, Kuben, Kubikwurzeln, Umfang und Flächen von Kreisen, natürliche Logarithmen.

x	$\frac{1}{x}$	x^2	$\sqrt{x}$	x^3	$\sqrt[3]{x}$	πx	$\frac{\pi x^2}{4}$	lgn x
1	1,0000	1	1,000	1	1,000	3,14	0,79	0,0000
2	0,5000	4	1,414	8	1,260	6,28	3,14	0,6931
3	0,3333	9	1,732	27	1,442	9,42	7,07	1,0986
4	0,2500	16	2,000	64	1,587	12,57	12,57	1,3863
5	0,2000	25	2,236	125	1,710	15,71	19,63	1,6094
6	0,1667	36	2,449	216	1,817	18,85	28,27	1,7918
7	0,1429	49	2,646	343	1,913	21,99	38,48	1,9459
8	0,1250	64	2,828	512	2,000	25,13	50,27	2,0794
9	0,1111	81	3,000	729	2,080	28,27	63,62	2,1972
10	0,1000	100	3,162	1 000	2,154	31,42	78,54	2,3026
11	0,0909	121	3,317	1 331	2,224	34,56	95,03	2,3979
12	0,0833	144	3,464	1 728	2,289	37,70	113,10	2,4849
13	0,0769	169	3,605	2 197	2,351	40,84	132,73	2,5649
14	0,0714	196	3,742	2 744	2,410	43,98	153,94	2,6391
15	0,0667	225	3,873	3 375	2,466	47,12	176,71	2,7081
16	0,0625	256	4,000	4 096	2,520	50,27	201,06	2,7726
17	0,0588	289	4,123	4 913	2,571	53,41	226,98	2,8332
18	0,0556	324	4,242	5 832	2,621	56,55	254,47	2,8904
19	0,0526	361	4,359	6 859	2,668	59,69	283,53	2,9444
20	0,0500	400	4,472	8 000	2,714	62,83	314,16	2,9957
21	0,0476	441	4,583	9 261	2,759	65,97	346,36	3,0445
22	0,0455	484	4,690	10 648	2,802	69,11	380,13	3,0910
23	0,0435	529	4,796	12 167	2,844	72,26	415,48	3,1355
24	0,0417	576	4,899	13 824	2,884	75,40	452,39	3,1781
25	0,0400	625	5,000	15 625	2,924	78,54	490,87	3,2189
26	0,0385	676	5,099	17 576	2,962	81,68	530,93	3,2581
27	0,0370	729	5,196	19 683	3,000	84,82	572,56	3,2958
28	0,0357	784	5,291	21 952	3,037	87,96	615,75	3,3322
29	0,0345	841	5,385	24 389	3,072	91,11	660,52	3,3673
30	0,0333	900	5,477	27 000	3,107	94,25	706,86	3,4012
31	0,0323	961	5,568	29 791	3,141	97,39	754,77	3,4340
32	0,0313	1 024	5,657	32 768	3,175	100,53	804,25	3,4657
33	0,0303	1 089	5,745	35 937	3,207	103,67	855,30	3,4965
34	0,0294	1 156	5,831	39 304	3,240	106,81	907,92	3,5264
35	0,0286	1 225	5,916	42 875	3,271	109,96	962,11	3,5553
36	0,0278	1 296	6,000	46 656	3,302	113,10	1 017,88	3,5835
37	0,0270	1 369	6,083	50 653	3,332	116,24	1 075,21	3,6109
38	0,0263	1 444	6,164	54 872	3,362	119,38	1 134,11	3,6376
39	0,0256	1 521	6,245	59 319	3,391	122,52	1 194,59	3,6636
40	0,0250	1 600	6,325	64 000	3,420	125,66	1 256,64	3,6889
41	0,0244	1 681	6,403	68 921	3,448	128,81	1 320,25	3,7136
42	0,0238	1 764	6,481	74 088	3,476	131,95	1 385,44	3,7377
43	0,0233	1 849	6,557	79 507	3,503	135,09	1 452,20	3,7612
44	0,0227	1 936	6,633	85 184	3,530	138,23	1 520,53	3,7842
45	0,0222	2 025	6,708	91 125	3,557	141,37	1 590,43	3,8067

x	$\frac{1}{x}$	x^2.	$\sqrt{x}$	x^3	$\sqrt[3]{x}$	πx	$\frac{\pi x^2}{4}$	lgn x
46	0,0217	2 116	6,782	97 336	3,583	144,51	1 661,90	3,8286
47	0,0213	2 209	6,856	103 823	3,609	147,65	1 734,94	3,8501
48	0,0208	2 304	6,928	110 592	3,634	150,80	1 809,56	3,8712
49	0,0204	2 401	7,000	117 649	3,659	153,94	1 885,74	3,8918
50	0,0200	2 500	7,071	125 000	3,684	157,08	1 963,50	3,9120
51	0,0196	2 601	7,141	132 651	3,708	160,22	2 042,82	3,9318
52	0,0192	2 704	7,211	140 608	3,732	163,36	2 123,72	3,9512
53	0,0189	2 809	7,280	148 877	3,756	166,50	2 206,18	3,9703
54	0,0185	2 916	7,348	157 464	3,780	169,65	2 290,22	3,9890
55	0,0182	3 025	7,416	166 375	3,803	172,79	2 375,88	4,0073
56	0,0179	3 136	7,483	175 616	3,826	175,93	2 463,01	4,0254
57	0,0175	3 249	7,550	185 193	3,848	179,07	2 551,76	4,0431
58	0,0172	3 364	7,616	195 112	3,871	182,21	2 642,08	4,0604
59	0,0169	3 481	7,681	205 379	3,893	185,35	2 733,97	4,0775
60	0,0167	3 600	7,746	216 000	3,915	188,50	2 827,43	4,0943
61	0,0164	3 721	7,810	226 981	3,936	191,64	2 922,47	4,1109
62	0,0161	3 844	7,874	238 328	3,958	194,78	3 019,07	4,1271
63	0,0159	3 969	7,937	250 047	3,979	197,92	3 117,24	4,1431
64	0,0156	4 096	8,000	262 144	4,000	201,06	3 216,99	4,1589
65	0,0154	4 225	8,062	274 625	4,021	204,20	3 318,31	4,1744
66	0,0152	4 356	8,124	287 496	4,041	207,35	3 421,19	4,1897
67	0,0149	4 489	8,185	300 763	4,061	210,49	3 525,65	4,2047
68	0,0147	4 624	8,246	314 432	4,082	213,63	3 631,68	4,2195
69	0,0145	4 761	8,307	328 509	4,102	216,77	3 739,28	4,2341
70	0,0143	4 900	8,367	343 000	4,121	219,91	3 848,45	4,2485
71	0,0141	5 041	8,426	357 911	4,141	223,05	3 959,19	4,2627
72	0,0139	5 184	8,485	373 248	4,160	226,19	4 071,50	4,2767
73	0,0137	5 329	8,544	389 017	4,179	229,34	4 185,39	4,2905
74	0,0135	5 476	8,602	405 224	4,198	232,48	4 300,84	4,3041
75	0,0133	5 625	8,660	421 875	4,217	235,62	4 417,86	4,3175
76	0,0132	5 776	8,718	438 976	4,236	238,76	4 536,46	4,3307
77	0,0130	5 929	8,775	456 533	4,254	241,90	4 656,63	4,3438
78	0,0128	6 084	8,832	474 552	4,273	245,04	4 778,36	4,3567
79	0,0127	6 241	8,888	493 039	4,291	248,19	4 901,67	4,3694
80	0,0125	6 400	8,944	512 000	4,309	251,33	5 026,55	4,3820
81	0,0123	6 561	9,000	531 441	4,327	254,47	5 153,00	4,3944
82	0,0122	6 724	9,055	551 368	4,344	257,61	5 281,02	4,4067
83	0,0120	6 889	9,110	571 787	4,362	260,75	5 410,61	4,4188
84	0,0119	7 056	9,165	592 704	4,379	263,89	5 541,77	4,4308
85	0,0118	7 225	9,219	614 125	4,397	267,04	5 674,50	4,4427
86	0,0116	7 396	9,274	636 056	4,414	270,18	5 808,80	4,4543
87	0,0115	7 569	9,327	658 503	4,431	273,32	5 944,68	4,4659
88	0,0114	7 744	9,381	681 472	4,448	276,46	6 082,12	4,4773
89	0,0112	7 921	9,433	704 969	4,465	279,60	6 221,14	4,4886
90	0,0111	8 100	9,487	729 000	4,481	282,74	6 361,72	4,4998
91	0,0110	8 281	9,539	753 571	4,498	285,88	6 503,88	4,5109
92	0,0109	8 464	9,592	778 688	4,514	289,03	6 647,61	4,5218
93	0,0108	8 649	9,644	804 357	4,531	292,17	6 792,91	4,5326
94	0,0106	8 836	9,695	830 584	4,547	295,31	6 939,78	4,5433
95	0,0105	9 025	9,747	857 375	4,563	298,45	7 088,22	4,5539
96	0,0104	9 216	9,798	884 736	4,579	301,59	7 238,23	4,5643
97	0,0103	9 409	9,849	912 673	4,595	304,73	7 389,81	4,5747
98	0,0102	9 604	9,899	941 192	4,610	307,88	7 542,96	4,5850
99	0,0101	9 801	9,950	970 299	4,626	311,02	7 697,69	4,5951
100	0,0100	10 000	10,000	1 000 000	4,643	314,16	7 853,98	4,6052

2. Gemeine oder briggische Logarithmen.

Nr.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0000	0043	0086	0128	0170	0212	0253	0294	0334	0374
11	0414	0453	0492	0531	0569	0607	0645	0682	0719	0755
12	0792	0828	0864	0899	0934	0969	1004	1038	1072	1106
13	1139	1173	1206	1239	1271	1303	1335	1367	1399	1430
14	1461	1492	1523	1553	1584	1614	1644	1673	1703	1732
15	1761	1790	1818	1847	1875	1903	1931	1959	1987	2014
16	2041	2068	2095	2122	2148	2175	2201	2227	2253	2279
17	2304	2330	2355	2380	2405	2430	2455	2480	2504	2529
18	2553	2577	2601	2625	2648	2672	2695	2718	2742	2765
19	2788	2810	2833	2856	2878	2900	2923	2945	2967	2989
20	3010	3032	3054	3075	3096	3118	3139	3160	3181	3201
21	3222	3243	3263	3284	3304	3324	3345	3365	3385	3404
22	3424	3444	3464	3483	3502	3522	3541	3560	3579	3598
23	3617	3636	3655	3674	3692	3711	3729	3747	3766	3784
24	3802	3820	3838	3856	3874	3892	3909	3927	3945	3962
25	3979	3997	4014	4031	4048	4065	4082	4099	4116	4133
26	4150	4166	4183	4200	4216	4232	4249	4265	4281	4298
27	4314	4330	4346	4362	4378	4393	4409	4425	4440	4456
28	4472	4487	4502	4518	4533	4548	4564	4579	4594	4609
29	4624	4639	4654	4669	4683	4698	4713	4728	4742	4757
30	4771	4786	4800	4814	4829	4843	4857	4871	4886	4900
31	4914	4928	4942	4955	4969	4983	4997	5011	5024	5038
32	5051	5065	5079	5092	5105	5119	5132	5145	5159	5172
33	5185	5198	5211	5224	5237	5250	5263	5276	5289	5302
34	5315	5328	5340	5353	5366	5378	5391	5403	5416	5428
35	5441	5453	5465	5478	5490	5502	5514	5527	5539	5551
36	5563	5575	5587	5599	5611	5623	5635	5647	5658	5670
37	5682	5694	5705	5717	5729	5740	5752	5763	5775	5786
38	5798	5809	5821	5832	5843	5855	5866	5877	5888	5899
39	5911	5922	5933	5944	5955	5966	5977	5988	5999	6010
40	6021	6031	6042	6053	6064	6075	6085	6096	6107	6117
41	6128	6138	6149	6160	6170	6180	6191	6201	6212	6222
42	6232	6243	6253	6263	6274	6284	6294	6304	6314	6325
43	6335	6345	6355	6365	6375	6385	6395	6405	6415	6425
44	6435	6444	6454	6464	6474	6484	6493	6503	6513	6522
45	6532	6542	6551	6561	6571	6580	6590	6599	6609	6618
46	6628	6637	6646	6656	6665	6675	6684	6693	6702	6712
47	6721	6730	6739	6749	6758	6767	6776	6785	6794	6803
48	6812	6821	6830	6839	6848	6857	6866	6875	6884	6893
49	6902	6911	6920	6928	6937	6946	6955	6964	6972	6981
50	6990	6998	7007	7016	7024	7033	7042	7050	7059	7067
51	7076	7084	7093	7101	7110	7118	7126	7135	7143	7152
52	7160	7168	7177	7185	7193	7202	7210	7218	7226	7235
53	7243	7251	7259	7267	7275	7284	7292	7300	7308	7316
54	7324	7332	7340	7348	7356	7364	7372	7380	7388	7396

| Nr. | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Nr.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
55	7404	7412	7419	7427	7435	7443	7451	7459	7466	7474
56	7482	7490	7497	7505	7513	7520	7528	7536	7543	7551
57	7559	7566	7574	7582	7589	7597	7604	7612	7619	7627
58	7634	7642	7649	7657	7664	7672	7679	7686	7694	7701
59	7709	7716	7723	7731	7738	7745	7752	7760	7767	7774
60	7782	7789	7796	7803	7810	7818	7825	7832	7839	7846
61	7853	7860	7868	7875	7882	7889	7896	7903	7910	7917
62	7924	7931	7938	7945	7952	7959	7966	7973	7980	7987
63	7993	8000	8007	8014	8021	8028	8035	8041	8048	8055
64	8062	8069	8075	8082	8089	8096	8102	8109	8116	8122
65	8129	8136	8142	8149	8156	8162	8169	8176	8182	8189
66	8195	8202	8209	8215	8222	8228	8235	8241	8248	8254
67	8261	8267	8274	8280	8287	8293	8299	8306	8312	8319
68	8325	8331	8338	8344	8351	8357	8363	8370	8376	8382
69	8388	8395	8401	8407	8414	8420	8426	8432	8439	8445
70	8451	8457	8463	8470	8476	8482	8488	8494	8500	8506
71	8513	8519	8525	8531	8537	8543	8549	8555	8561	8567
72	8573	8579	8585	8591	8597	8603	8609	8615	8621	8627
73	8633	8639	8645	8651	8657	8663	8669	8675	8681	8686
74	8692	8698	8704	8710	8716	8722	8727	8733	8739	8745
75	8751	8756	8762	8768	8774	8779	8785	8791	8797	8802
76	8808	8814	8820	8825	8831	8837	8842	8848	8854	8859
77	8865	8871	8876	8882	8887	8893	8899	8904	8910	8915
78	8921	8927	8932	8938	8943	8949	8954	8960	8965	8971
79	8976	8982	8987	8993	8998	9004	9009	9015	9020	9025
80	9031	9036	9042	9047	9053	9058	9063	9069	9074	9079
81	9085	9090	9096	9101	9106	9112	9117	9122	9128	9133
82	9138	9143	9149	9154	9159	9165	9170	9175	9180	9186
83	9191	9196	9201	9206	9212	9217	9222	9227	9232	9238
84	9243	9248	9253	9258	9263	9269	9274	9279	9284	9289
85	9294	9299	9304	9309	9315	9320	9325	9330	9335	9340
86	9345	9350	9355	9360	9365	9370	9375	9380	9385	9390
87	9395	9400	9405	9410	9415	9420	9425	9430	9435	9440
88	9445	9450	9455	9460	9465	9469	9474	9479	9484	9489
89	9494	9499	9504	9509	9513	9518	9523	9528	9533	9538
90	9542	9547	9552	9557	9562	9566	9571	9576	9581	9586
91	9590	9595	9600	9605	9609	9614	9619	9624	9628	9633
92	9638	9643	9647	9652	9657	9661	9666	9671	9675	9680
93	9685	9689	9694	9699	9703	9708	9713	9717	9722	9727
94	9731	9736	9741	9745	9750	9754	9759	9763	9768	9773
95	9777	9782	9786	9791	9795	9800	9805	9809	9814	9818
96	9823	9827	9832	9836	9841	9845	9850	9854	9859	9863
97	9868	9872	9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	9908
98	9912	9917	9921	9926	9930	9934	9939	9943	9948	9952
99	9956	6961	9965	9969	9974	9978	9983	9987	9991	9996

Nr.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

3. Trigonometrische Funktionen.

	sinus	cosinus	tang.	cotang.	
0	0,0000	1,0000	0,0000	∞	90
1	0,0175	0,9998	0,0175	57,290	89
2	0,0349	0,9994	0,0349	28,636	88
3	0,0523	0,9986	0,0524	19,081	87
4	0,0698	0,9976	0,0699	14,301	86
5	0,0872	0,9962	0,0875	11,430	85
6	0,1045	0,9945	0,1051	9,5144	84
7	0,1219	0,9925	0,1228	8,1443	83
8	0,1392	0,9903	0,1405	7,1154	82
9	0,1564	0,9877	0,1584	6,3138	81
10	0,1736	0,9848	0,1763	5,6713	80
11	0,1908	0,9816	0,1944	5,1446	79
12	0,2079	0,9781	0,2126	4,7046	78
13	0,2250	0,9744	0,2309	4,3315	77
14	0,2419	0,9703	0,2493	4,0108	76
15	0,2588	0,9659	0,2679	3,7321	75
16	0,2756	0,9613	0,2867	3,4874	74
17	0,2924	0,9563	0,3057	3,2709	73
18	0,3090	0,9511	0,3249	3,0777	72
19	0,3256	0,9455	0,3443	2,9042	71
20	0,3420	0,9397	0,3640	2,7475	70
21	0,3584	0,9336	0,3839	2,6051	69
22	0,3746	0,9272	0,4040	2,4751	68
23	0,3907	0,9205	0,4245	2,3559	67
24	0,4067	0,9135	0,4452	2,2460	66
25	0,4226	0,9063	0,4663	2,1445	65
26	0,4384	0,8988	0,4877	2,0503	64
27	0,4540	0,8910	0,5095	1,9626	63
28	0,4695	0,8829	0,5317	1,8807	62
29	0,4848	0,8746	0,5543	1,8040	61
30	0,5000	0,8660	0,5774	1,7321	60
31	0,5150	0,8572	0,6009	1,6643	59
32	0,5299	0,8480	0,6249	1,6003	58
33	0,5446	0,8387	0,6494	1,5399	57
34	0,5592	0,8290	0,6745	1,4826	56
35	0,5736	0,8192	0,7002	1,4281	55
36	0,5878	0,8090	0,7265	1,3764	54
37	0,6018	0,7986	0,7536	1,3270	53
38	0,6157	0,7880	0,7813	1,2799	52
39	0,6293	0,7771	0,8098	1,2349	51
40	0,6428	0,7660	0,8391	1,1918	50
41	0,6561	0,7547	0,8693	1,1504	49
42	0,6691	0,7431	0,9004	1,1106	48
43	0,6820	0,7314	0,9325	1,0724	47
44	0,6947	0,7193	0,9657	1,0355	46
45	0,7071	0,7071	1,0000	1,0000	45
	cosinus	sinus	cotang.	tang.	

4. Länge der Kreisbögen für den Radius 1.

$1^0 = 0{,}017\,45$
$1' = 0{,}000\,291$
$1'' = 0{,}000\,005\,3$
$57^0\,17'\,44{,}8'' = 1.$

5. Poggendorffsche Spiegelablesung.

Beträgt die Entfernung der Skala vom Spiegel r Skalenteile, so ist für die Ablesung n Skalenteile $tg\,2\alpha = \frac{n}{r}$.

$tg\,2\alpha$	$tg\,\alpha$	α			$tg\,2\alpha$	$tg\,\alpha$	α		
0,0100	0,0050	0°	17′	11″	0,2100	0,1038	5°	55′	43″
0,0200	0,0100	0	34	22	0,2200	0,1087	6	12	14
0,0300	0,0150	0	51	33	0,2300	0,1135	6	28	35
0,0400	0,0200	1	8	43	0,2400	0,1183	6	44	47
0,0500	0,0250	1	25	52	0,2500	0,1231	7	1	5
0,0600	0,0300	1	43	1	0,2600	0,1279	7	17	14
0,0700	0,0349	2	0	8	0,2700	0,1326	7	33	17
0,0800	0,0399	2	17	13	0,2800	0,1374	7	49	16
0,0900	0,0449	2	34	17	0,2900	0,1421	8	5	10
0,1000	0,0499	2	51	19	0,3000	0,1468	8	20	59
0,1100	0,0548	3	8	19	0,3100	0,1514	8	36	42
0,1200	0,0598	3	25	17	0,3200	0,1561	8	52	20
0,1300	0,0647	3	42	12	0,3300	0,1607	9	7	58
0,1400	0,0697	3	59	5	0,3400	0,1654	9	23	20
0,1500	0,0746	4	15	55	0,3500	0,1699	9	38	42
0,1600	0,0795	4	32	43	0,3600	0,1745	9	53	58
0,1700	0,0844	4	49	26	0,3700	0,1791	10	9	8
0,1800	0,0893	5	6	7	0,3800	0,1836	10	24	12
0,1900	0,0942	5	22	44	0,3900	0,1881	10	39	10
0,2000	0,0990	5	39	18	0,4000	0,1926	10	54	3

6. Einzelne, wichtige mathematische Zahlen.

Länge des Kreisumfanges für den Durchmesser 1.

$\pi = 3{,}14159 \qquad \log \pi = 0{,}49715.$

Basis der natürlichen Logarithmen.

$e = 2{,}71828 \qquad \log e = 0{,}43429$

$\frac{1}{\log e} = 2{,}30259 \qquad \log \log e = 9{,}63778 - 10$

$\log a = \lg a \log e = 0{,}43429\ \lg a$

$\lg a = \log a \frac{1}{\log e} = 2{,}30259\ \log a$

7. Beleuchtung.

Lichtart	Lichtstärke HK	Gesamtverbrauch in der Stunde	Verbrauch für 1 HK in 1 Stunde	Kosten für 1 HK in der Stunde
Petroleumlampe (Rundbrenner 14‴)	14	44 g	3,1 g	0,08 ₰
Spiritusglühlicht	55	129 g	2,3 g	0,10 „
Azetylen	45	27 l	0,6 l	0,08
Gas: Schnittbrenner	12—14	142 l	12—10 l	0,16 „
„ Argand-(Rund)brenner	15—18	150 l	10—8 l	0,13 „
„ Auerlicht (Strumpf)	50—120	80—110 l	1,3—1,0 l	0,016 „
„ Millenniumlicht	1200	1200 l	1,0 l	0,015 „
Elektrisches Licht: Glühlampe Kohlenfaden	16—50	—	3,0 Watt	0,156 „
Elektrisches Licht: Glühlampe Osmium	16—50	—	1,5 „	0,078 „
Elektrisches Licht: Glühlampe Tantal	25	—	1,5 „	0,078 „
Elektrisches Licht: Glühlampe Nernstlampe	15—250	—	1,6 „	0,084 „
Elektrisches Licht: Bogenlicht (Mindestspannung 40 Volt)	400[1])	—	0,45 „	0,066 „
Elektrisches Licht: Bogenlicht Flammenbogen (Effektkohlen)	600—800	—	0,35 „	0,050 „
Elektrisches Licht: Liliputbogenlampen (Mindestspannung 80 Volt)	100—300	—	0,45 „	*0,066* „

[1]) Bogenlicht läßt sich bis 75000 HK ausführen.

8. Brechungsverhältnisse gegen den leeren Raum.

1. Für die Linie *D* des Spektrums.

Helium	1,000 043	Phenol	1,550
Wasserstoff	1,000 140	Anilin	1,586
Luft	1,000 293	Zimtöl	1,619
Kohlensäure	1,000 449	Phosphor	2,144
Äther	1,357	Diamant	2,470
Linse des menschlichen Auges	1,38—1,41		

2. Für verschiedene Fraunhofersche Linien.

	B	*C*	*D*	*F*	*H*
Wasser	1,330	1,331	1,333	1,337	1,344
Alkohol	1,361	1,362	1,364	1,368	1,375
Flußspat	1,432	1,433	1,434	1,437	1,442
Benzol	1,492	1,493	1,498	1,510	1,530
Steinsalz	1,539	1,540	1,544	1,553	1,561
Anisöl	1,549	1,551	1,557	1,574	1,608
Schwefelkohlenstoff	1,618	1,621	1,631	1,655	1,701

3. Brechungsverhältnis und Dispersion der mittleren Strahlen in einigen Gläsern.

G = Bezeichnung des Glases von Schott und Genossen in Jena.

n = Brechungsverhältnis für die als Index angegebene Fraunhofersche Linie.

$\frac{1}{\nu} = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$ = die relative Dispersion.

G	Benennung	n_D	ν
O 225	Leichtes Phosphat-Kronglas	1,516	70,0
S 40	Mittleres Phosphat-Kronglas	1,559	66,9
UV 3199	Uviolkronglas	1,504	64,4
S 52	Leichtes Borat-Kronglas	1,504	60,0
S 35	Borat-Flintglas	1,550	55,2
S 164	Borosilikat-Flintglas	1,550	49,4
S 154	Leichtes Silikat-Flintglas	1,571	43,0
S 10	Schweres Borat-Flintglas	1,680	38,0
S 57	Schwerstes Silikat-Flintglas	1,968	19,7

4. Brechungsverhältnis wässeriger Lösungen für Natriumlicht.

% = Gewichtsprozente.
s = spezifisches Gewicht.
n = Brechungsverhältnis.

NaCl (18°)			Zucker (22°)		
%	s	n	%	s	n
25	1,1891	1,378	30	1,1264	1,381
20	1,1482	1,369	20	1,0803	1,364
15	1,1091	1,360	10	1,0381	1,348
10	1,0713	1,351			
5	1,0345	1,342			
3	1,0201	1,338			
1	1,0058	1,335			
0	0,9987	1,333			

	s	n
Kaliumquecksilberjodid konz. 18° . .	3,112	1,7167
Bariumquecksilberjodid konz. 23° . .	3,564	1,7931

9. Wellenlängen.

F = Bezeichnung der Fraunhoferschen Linie im Sonnenspektrum.
λ = Wellenlänge in $\mu\mu$ ($1\ \mu\mu = 10^{-6}$ mm).
E = Chemisches Element, dem die Linie zukommt.

	F	λ	E		F	λ	E
Infrarot	ψ	2700		Blau		460,7	Sr
„	Φ_1	1200		„		459,3	Cs
„	ϱ	943		„		455,5	Cs
„	Y	899		„	G	430,8	Fe
„	X_1	850		„		422,7	Ca
				„		421,6	Rb
Rot		795,0	Rb	„		420,2	Rb
„		781,1	Rb				
„		769,8	K				
„	A	759,4	O	Violett	h	410,2	H
„	B	686,7	O	„		404,7	K
„		670,8	Li	„	H	396,8	Ca
„	C	656,3	H	Ultra-			
				violett	K	393,4	Ca
Orange		643,9	Cd	„	L	382,1	Fe
„		627,8	O	„		364,4	Ca
„		610,4	Li	„	O	344,1	Fe
				„		340,3	Cd
Gelb	D_1	589,6	Na	„	R	318,1	Ca
„	D_2	589,0	Na	„	T	302,0	Fe
„		535,1	Tl	„	U	294,8	Fe
				„		257,3	Cd
Grün	E_1	527,1	Fe	„		232,9	Cd
„	E_2	527,0	Ca	„		231,3	Cd
„		518,4	Mg	„		226,8	Cd
„	F	486,1	H	„		219,5	Cd
„		480,0	Cd	„	(Cd_{26})	214,4	Cd

10. Doppeltbrechende Kristalle.

o = Brechungsverhältnis für den ordentlichen Strahl.
ao = Brechungsverhältnis für den außerordentlichen Strahl.
1, 2, 3 = Hauptbrechungsverhältnisse.

Lichtarten		Li	Na	Tl
Kalkspath	o	1,654	1,658	1,663
	ao	1,484	1,486	1,488
Quarz	o	1,541	1,544	1,547
	ao	1,551	1,553	1,556
Eis	o	1,307	1,309	1,311
	ao	1,308	1,310	1,312
Korund	o		1,768	
	ao		1,760	

Doppeltbrechende Kristalle.

(Fortsetzung.)

Lichtarten		B	D	E
Natriumnitrat (Salpeter) . .	o	1,579	1,587	1,595
	ao	1,335	1,336	1,337

		1	2	3
Gips	Li	1,527	1,520	1,518
	Na	1,530	1,523	1,521
	Tl	1,532	1,525	1,523
Topas	Na	1,637	1,631	1,630

11. Drehung der Polarisationsebene des Lichtes.

α = Wirkliche Drehung in Quarzplatten von 1 mm Dicke.
$[\alpha]$ = Spezifische Drehung in Rohrzuckerlösungen.

Ist in letzteren l die Länge der angewandten Flüssigkeitssäule in dm, gewöhnlich $l = 2$, c die Konzentration, d. h. die Anzahl Gramm in 100 ccm Lösung, und α die wirkliche Drehung, so ist $[\alpha] = \frac{100\,\alpha}{l\,c}$.

Lichtarten	A	B	C	D	E	F	G	H	Cd_{26}
Quarz . . . . . α	12,7	15,7	17,3	21,7	27,5	32,8	42,6	51,2	236,0
Rohrzucker . . . . $[\alpha]$	38,5	47,6	52,7	66,4	84,6	101,2	132,0	157,1	—

12. Erdmagnetismus für 1905.

Deklination (westlich).[1])

	2°	6°	10°	14°	18°	20°
45°	13,8	12,2	10,7	9,1	7,3	5,8
50°	14,9	13,0	11,1	9,1	7,0	5,1
55°	15,8	13,6	11,3	9,0	6,7	4,5

Inklination.

	0°	5°	10°	15°	20°	25°
45°	62,4	61,5	61,0	60,3	59,8	59,4
47°	64,0	63,2	62,6	62,2	61,5	61,1
49°	65,3	64,6	64,2	63,8	63,2	62,7
51°	66,6	66,3	65,8	65,4	64,7	64,3
53°	68,0	67,5	67,0	66,7	66,5	65,9
55°	69,2	68,9	68,4	68,0	67,7	67,3

Horizontalintensität.[2])

	0°	5°	10°	15°	20°	25°
45°	0,212	0,216	0,219	0,223	0,226	0,231
47°	203	207	210	214	218	221
49°	195	199	202	205	209	212
51°	187	191	194	197	199	202
53°	180	183	186	188	190	192
55°	172	175	178	180	182	184

[1]) Die Überschriften der Kolumnen geben die östliche Länge von Greenwich; die linke Vertikalreihe gibt die nördliche Breite.

[2]) Die in der Tabelle benutzte Einheit der Feldstärke erhält man, wenn man in Nr. 87 als Einheit der Länge 1 cm, als Einheit der Zeit 1 sec und als Einheit der Kraft (des Gewichtes) die Kraft nimmt, welche der Masse 1 g die Beschleunigung 1 cm sec^{-2} erteilt, und aus der so erhaltenen Einheit der Magnetismusmenge nach Nr. 92 die Einheit der Feldstärke berechnet.

13. Schlagweite des Funkens durch Luft von atmosphärischem Druck.

Entfernung der Kugeln.	Potentialdifferenz in Volt.
0,5 mm	2 910
1,0 „	4 830
3,0 „	11 460
6,0 „	20 470
10,0 „	25 410
15,0 „	29 340
20,0 „	31 350

14. Potentialdifferenz zur Hervorbringung von Entladungen in verdünnter Luft für je 1 cm Spitzenentfernung.

p = Druck in cm Quecksilbersäule.
V = Potentialdifferenz in Volt/cm.

p	V	
4	2000	
2	1100	
1	650	
0,5	400	
0,025	130	Minimum
0,002	400	
0,0007	1200	

15. Dielektrizitätskonstanten.

Jenaer Glas S 186 . . .	5,78	Paraffin	2,3
S 169 . . .	6,39	Hartgummi	2,6
O 1777 . .	8,28	Schellack	3,0
O 1922 . .	8,70	Schwefel, amorph . . .	3,4
O 1355 . .	9,13	Glimmer	6,6

Dielektrizitätskonstanten.

(Fortsetzung.)

Petroleum	2,0	Anilin	7,5
Terpentinöl	2,2	Äthylalkohol	25
Benzol	2,3	Methylalkohol	33
Schwefelkohlenstoff	2,6	Wasser	80
Rhizinusöl	4,7	Wasserstoffsuperoxyd	93
Äthyläther	4,9		
Leerer Raum	1	Wasserstoff	1,000 26
Luft	1,000 59	Kohlensäure	1,000 98

16. Elektromotorische Kräfte galvanischer Elemente in Volt.

1. Gebrauchselemente.

	E
Daniell, spez. Gew. der Schwefelsäure 1,18	1,07
„ „ „ „ „ 1,012	0,97
Bunsen, rauchende Salpetersäure	1,94
„ spez. Gew. der Salpetersäure 1,38	1,87
Leclanché	1,49
Volta	0,9
Akkumulatoren, spez. Gew. der Säure 1,22	2,1
„ „ „ „ 1,18	2,0

2. Normalelemente.

E_t = Elektrom. Kraft bei der Temperatur t.

Clark $E_t = 1{,}4328 - 0{,}00119\ (t - 15^0) - 0{,}000007\ (t - 15^0)^2$

Weston $E_t = 1{,}0186 - 0{,}000038\ (t - 20^0) - 0{,}00000065\ (t - 20^0)^2$

Gouy $E_t = 1{,}386 - 0{,}000208\ (t - 15^0)$.

17. Tabelle zur Wheatstoneschen Brücke.

Hat der Meßdraht die Länge 1000, und hat man den verschiebbaren Kontakt auf den Teilstrich a einstellen müssen, so gibt die Tabelle den Wert des Verhältnisses $\frac{a}{1000 - a}$, mit welchem der bekannte Widerstand multipliziert werden muß, um den unbekannten zu ergeben. Ist z. B. $a = 364$ abgelesen, so sucht man unter der mit 300 überschriebenen Kolumne die Zeile, welche vorn mit 64 bezeichnet ist; man findet $\frac{364}{1000 - 364} = 0{,}5723$.

Tabelle zur Wheatstoneschen Brücke.

(Fortsetzung.)

a	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
0	0,0000	0,1111	0,2500	0,4286	0,6667	1,0000	1,500	2,333	4,000	9,00
1	0010	1123	2516	4306	6694	1,0040	1,506	2,344	4,025	9,10
2	0020	1136	2531	4327	6722	1,0080	1,513	2,356	4,051	9,20
3	0030	1148	2547	4347	6750	1,0121	1,519	2,367	4,076	9,31
4	0040	1161	2563	4368	6779	1,0161	1,525	2,378	4,102	9,42
5	0050	1173	2579	4388	6807	1,0202	1,532	2,390	4,128	9,53
6	0060	1186	2594	4409	6835	1,0243	1,538	2,401	4,155	9,64
7	0070	1198	2610	4430	6863	1,0284	1,545	2,413	4,181	9,75
8	0081	1211	2626	4451	6892	1,0325	1,551	2,425	4,208	9,87
9	0091	1223	2642	4472	6921	1,0367	1,558	2,436	4,236	9,99
10	0101	1236	2658	4493	6949	1,0408	1,564	2,448	4,263	10,11
11	0111	1249	2674	4514	6978	1,0450	1,571	2,460	4,291	10,24
12	0121	1261	2690	4535	7007	1,0492	1,577	2,472	4,319	10,36
13	0132	1274	2706	4556	7036	1,0534	1,584	2,484	4,348	10,49
14	0142	1287	2723	4577	7065	1,0576	1,591	2,497	4,376	10,63
15	0152	1299	2739	4599	7094	1,0619	1,597	2,509	4,405	10,76
16	0163	1312	2755	4620	7123	1,0661	1,604	2,521	4,435	10,90
17	0173	1325	2771	4641	7153	1,0704	1,611	2,534	4,465	11,05
18	0183	1338	2788	4663	7182	1,0747	1,618	2,546	4,495	11,20
19	0194	1351	2804	4684	7212	1,0790	1,625	2,559	4,525	11,35
20	0204	1364	2820	4706	7241	1,0833	1,632	2,571	4,556	11,50
21	0215	1377	2837	4728	7271	1,0877	1,639	2,584	4,587	11,66
22	0225	1390	2853	4749	7301	1,0921	1,646	2,597	4,618	11,82
23	0235	1403	2870	4771	7331	1,0964	1,653	2,610	4,650	11,99
24	0246	1416	2887	4793	7361	1,1008	1,660	2,623	4,682	12,16
25	0256	1429	2903	4815	7391	1,1053	1,667	2,636	4,714	12,33
26	0267	1442	2920	4837	7422	1,1097	1,674	2,650	4,747	12,51
27	0278	1455	2937	4859	7452	1,1142	1,681	2,663	4,780	12,70
28	0288	1468	2953	4881	7483	1,1186	1,688	2,676	4,814	12,89
29	0299	1481	2970	4903	7513	1,1231	1,695	2,690	4,848	13,08
30	0309	1494	2987	4925	7544	1,1277	1,703	2,704	4,882	13,29
31	0320	1507	3004	4948	7575	1,1322	1,710	2,717	4,917	13,49
32	0331	1521	3021	4970	7606	1,1368	1,717	2,731	4,952	13,71
33	0341	1534	3038	4993	7637	1,1413	1,725	2,745	4,988	13,93
34	0352	1547	3055	5015	7668	1,1459	1,732	2,759	5,024	14,15
35	0363	1561	3072	5038	7699	1,1505	1,740	2,774	5,061	14,38
36	0373	1574	3089	5060	7731	1,1552	1,747	2,788	5,098	14,63
37	0384	1587	3106	5083	7762	1,1598	1,755	2,802	5,135	14,87
38	0395	1601	3123	5106	7794	1,1645	1,762	2,817	5,173	15,13
39	0406	1614	3141	5129	7825	1,1692	1,770	2,831	5,211	15,39
40	0417	1628	3158	5152	7857	1,1739	1,778	2,846	5,250	15,67
41	0428	1641	3175	5175	7889	1,1786	1,786	2,861	5,289	15,95
42	0438	1655	3193	5198	7921	1,1834	1,793	2,876	5,329	16,24
43	0449	1669	3210	5221	7953	1,1882	1,801	2,891	5,369	16,54
44	0460	1682	3228	5244	7986	1,1930	1,809	2,906	5,410	16,86
45	0471	1696	3245	5267	8018	1,1978	1,817	2,922	5,452	17,18
46	0482	1710	3263	5291	8051	1,2026	1,825	2,937	5,494	17,52
47	0493	1723	3280	5314	8083	1,2075	1,833	2,953	5,536	17,87
48	0504	1737	3298	5337	8116	1,2124	1,841	2,968	5,579	18,23
49	0515	1751	3316	5361	8149	1,2173	1,849	2,984	5,623	18,61
50	0,0526	0,1765	0,3333	0,5385	0,8182	1,2222	1,857	3,000	5,667	19,00

a	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
51	0,0537	0,1779	0,3351	0,5408	0,8215	1,2272	1,865	3,016	5,711	19,41
52	0549	1792	3369	5432	8248	1,2321	1,874	3,032	5,757	19,83
53	0560	1806	3387	5456	8282	1,2371	1,882	3,049	5,803	20,28
54	0571	1820	3405	5480	8315	1,2422	1,890	3,065	5,849	20,74
55	0582	1834	3423	5504	8349	1,2472	1,899	3,082	5,897	21,22
56	0593	1848	3441	5528	8382	1,2523	1,907	3,098	5,944	21,73
57	0604	1862	3459	5552	8416	1,2573	1,915	3,115	5,993	22,26
58	0616	1878	3477	5576	8450	1,2624	1,924	3,132	6,042	22,81
59	0627	1891	3495	5601	8484	1,2676	1,933	3,149	6,092	23,39
60	0638	1905	3514	5625	8519	1,2727	1,941	3,167	6,143	24,00
61	0650	1919	3532	5649	8553	1,2779	1,950	3,184	6,194	24,64
62	0661	1933	3550	5674	8587	1,2831	1,959	3,202	6,246	25,32
63	0672	1947	3569	5699	8622	1,2888	1,967	3,219	6,299	26,03
64	0684	1962	3587	5723	8657	1,2936	1,976	3,237	6,353	26,78
65	0695	1976	3605	5748	8692	1,2989	1,985	3,255	6,407	27,57
66	0707	1990	3624	5773	8727	1,3041	1,994	3,274	6,463	28,41
67	0718	2005	3643	5798	8762	1,3095	2,003	3,292	6,519	29,30
68	0730	2019	3661	5823	8797	1,3148	2,012	3,310	6,576	30,25
69	0741	2034	3680	5848	8832	1,3202	2,021	3,329	6,634	31,26
70	0753	2048	3699	5873	8868	1,3256	2,030	3,348	6,692	32,33
71	0764	2063	3717	5898	8904	1,3310	2,040	3,367	6,752	33,48
72	0776	2077	3736	5924	8939	1,3364	2,049	3,386	6,813	34,71
73	0787	2092	3755	5949	8975	1,3419	2,058	3,405	6,874	36,04
74	0799	2107	3774	5974	9011	1,3474	2,067	3,425	6,937	37,46
75	0811	2121	3793	6000	9048	1,3529	2,077	3,444	7,000	39,00
76	0823	2136	3812	6026	9084	1,3585	2,086	3,464	7,065	40,67
77	0834	2151	3831	6051	9120	1,3641	2,096	3,484	7,130	42,48
78	0846	2165	3850	6077	9157	1,3697	2,106	3,505	7,197	44,45
79	0858	2180	3870	6103	9194	1,3753	2,115	3,525	7,264	46,62
80	0870	2195	3889	6129	9231	1,3810	2,125	3,545	7,333	49,00
81	0881	2210	3908	6155	9268	1,3866	2,135	3,566	7,403	51,63
82	0893	2225	3928	6181	9305	1,3923	2,145	3,587	7,475	54,56
83	0905	2240	3947	6207	9342	1,3981	2,155	3,608	7,547	57,82
84	0917	2255	3966	6234	9380	1,4038	2,165	3,630	7,621	61,50
85	0929	2270	3986	6260	9417	1,4096	2,175	3,651	7,696	65,67
86	0941	2285	4006	6287	9455	1,4155	2,185	3,673	7,772	70,43
87	0953	2300	4025	6313	9493	1,4213	2,195	3,695	7,850	75,92
88	0965	2315	4045	6340	9531	1,4272	2,205	3,717	7,929	82,33
89	0977	2330	4065	6367	9569	1,4331	2,215	3,739	8,009	89,91
90	0989	2346	4085	6393	9608	1,4390	2,226	3,762	8,091	99,00
91	1001	2361	4104	6420	9646	1,4450	2,236	3,785	8,174	110,1
92	1013	2376	4124	6447	9685	1,4510	2,247	3,808	8,259	124,0
93	1025	2392	4144	6474	9724	1,4570	2,257	3,831	8,346	141,9
94	1038	2407	4164	6502	9763	1,4631	2,268	3,854	8,434	165,7
95	1050	2422	4184	6529	9802	1,4691	2,279	3,878	8,524	199,0
96	1062	2438	4205	6556	9841	1,4752	2,289	3,902	8,615	249,0
97	1074	2453	4225	6584	9881	1,4814	2,300	3,926	8,709	332,3
98	1086	2469	4245	6611	9920	1,4876	2,311	3,950	8,804	499,0
99	1099	2484	4265	6639	0,9960	1,4938	2,322	3,975	8,901	999,0
100	0,1111	0,2500	0,4286	0,6667	1,0000	1,5000	2,333	4,000	9,000	∞

18. Elektrische Leitfähigkeit.

l = Leitfähigkeit eines Würfels von 1 cm Seitenlänge in Mho bei 18°.
α = Temperaturkoeffizient des Widerstandes w.
$w = w_0 (1 + \alpha t)$.

1. Metalle.

	l	α
Silber	$64 \cdot 10^4$	0,00377
Kupfer	$61 \cdot 10^4$	0,00445
Gold	$47 \cdot 10^4$	0,00365
Aluminium	$36 \cdot 10^4$	0,00388
Platin	$9 \cdot 10^4$	0,00243
Eisen	$7 \cdot 10^4$	0,00481
Tantal	$6 \cdot 10^4$	
Blei	$5 \cdot 10^4$	0,00387
Quecksilber, fest	$4{,}2 \cdot 10^4$	0,0045
Quecksilber, flüssig	$1{,}063 \cdot 10^4$	0,0009

2. Legierungen.

	l	α
Manganin 84 g Cu 12 g Mn 4 g Ni	$2{,}4 \cdot 10^4$	bei 15° 0,000025 „ 25° 0,000014 „ 45° 0,000000
Konstantan 60 g Cu 40 g Ni	$2{,}1 \cdot 10^4$	0,000003
Nickelin 62 g Cu 20 g Zn 18 g Ni	$2{,}4 \cdot 10^4$	0,00023
Patentnickel 75 g Cu 25 g Ni	$3{,}0 \cdot 10^4$	0,00029

3. Kohle.

	l	α
Graphit, Bleistift von Faber	11	
„ aus Sibirien	870	
Glühlampenfäden	160 bis 260	− 0,000156 bis − 0,000739
Retortenkohle	140 „ 190	
Stäbe für Bogenlampen	140 „ 320	

4. Widerstand von Isolatoren.

w = Widerstand des Würfels von 1 cm Seitenlänge in 10^6 Ohm.
(10^6 Ohm = 1 Megohm).

	w
Glas, trocken	$8 \cdot 10^6$
Hartgummi	$4200 \cdot 10^6$
Paraffin	$3000 \cdot 10^6$
Olivenöl	$1 \cdot 10^6$
Benzol	1300

19. Leitfähigkeit von Elektrolyten bei 18°.

Konzentration	KCl	NaCl	NH_4Cl	$NaNO_3$	$\frac{1}{2}K_2SO_4$	$\frac{1}{2}Na_2SO_4$	$\frac{1}{2}CaCl_2$	$\frac{1}{2}ZnSO_4$	$\frac{1}{2}CuSO_4$	HCl	HNO_3	$\frac{1}{2}H_2SO_4$	KOH	NaOH
0 extrapoliert	130,10	108,99	129,8	105,33	134,7	113	118	116	119	383	380	388	239	217
0,0001	129,07	108,10	129,2	104,55	133,5	110,5	115	109,3	113,3	—	—	—	—	—
0,0002	128,77	107,82	128,8	104,19	132,7	109,6	114	107,2	111,1	—	—	—	—	—
0,0005	128,11	107,18	128,1	103,53	130,8	108,3	113	103,1	106,8	—	—	368	—	—
0,001	127,34	106,49	127,3	102,85	129,0	106,7	112	98,4	101,6	377	375	361	234	208
0,002	126,31	105,55	126,2	101,89	126,3	104,8	110	92,2	93,4	376	374	351	233	206
0,005	124,41	103,78	124,2	100,06	121,9	100,8	106	82,0	81,5	373	371	330	230	203
0,01	122,43	101,95	122,1	98,16	117,4	96,8	103	73,4	72,2	370	368	308	228	200
0,02	119,96	99,62	119,6	95,66	111,8	91,9	99	64,8	63,0	367	364	286	225	197
0,05	115,75	95,71	115,2	91,43	102,5	83,9	93	53,5	51,4	360	357	252	219	190
0,1	112,03	92,02	110,7	87,24	95,9	78,4	88	46,2	45,0	351	350	225	213	183
0,2	107,96	87,73	106,5	82,28	88,9	71,4	83	40,1	39,2	342	340	214	206	178
0,5	102,41	80,94	101,4	74,05	78,7	59,7	75	32,3	30,8	327	324	205	197	172
1	98,27	74,35	97,0	65,86	71,8	50,8	68	26,6	25,8	301	310	198	184	160
2	92,6	64,8	92,1	54,5	—	40,0	58	20,1	20,1	254	258	183	161	131
3	88,3	56,5	88,2	46,0	—	—	50	15,6	16,0	215	220	167	141	108
4	—	49,2	85,0	39,1	—	—	42	11,9	—	181	186	151	122	87
5	—	42,7	80,7	—	—	—	41	9,0	—	152	156	135	106	69
7	—	—	—	—	—	—	23	—	—	106	109	105	77	44
10	—	—	—	—	—	—	11	—	—	64	65	70	45	30

Die Konzentration ist angegeben durch die Zahl der in der Überschrift gegebenen Molen bzw. Bruchteile von Molen im Liter der Lösung.

20. Beweglichkeit der Ionen in unendlicher Verdünnung bei 18°.

Na	K	NH_4	$\frac{1}{2}$ Zn	$\frac{1}{2}$ Cu	H
43,55	64,67	64,4	45,6	49	320
Cl	NO_3	$\frac{1}{2}SO_4$			OH
65,44	61,78	70			174

Die Summe der Beweglichkeiten beider Ionen gibt wegen der Unabhängigkeit beider voneinander die Leitfähigkeit des Elektrolyten bei unendlicher Verdünnung.

21. Elektrolyse.

Durch einen Strom von 1 Ampère abgeschiedene Stoffmenge.
1 Amp. = 1,118 mg/sec Silber

Stoff	Atomgewicht	Wertigkeit	Äquivalentgewicht	in 1 Sec.	in 1 Min.	in 1 Stunde
Aluminium	27,1	3	9,0	0,093 mg	5,58 mg	0,3348 g
Chlor	35,45	1	35,45	0,356	21,36	1,2816
Gold	197,2	3	65,7	0,680	40,80	2,4480
Kalium	39,15	1	39,15	0,405	24,30	1,4580
Kupfer (Oxydsalze)	63,60	2	31,80	0,329	19,74	1,1836
Natrium	23,05	1	23,05	0,239	14,34	0,8604
Nickel	58,7	2	29,9	0,309	18,54	1,1124
Quecksilber (Oxydsalze)	200,3	2	100,1	1,037	62,22	3,7332
Quecksilber (Oxydulsalze)	200,3	1	200,3	2,074	124,44	7,4664
Salpetersäureanion NO_3	62,04	1	62,04	0,643	38,58	2,3148
Sauerstoff	16,00	2	8,00	0,082	4,92	0,2952
Schwefelsäureanion SO_4	96,06	2	48,03	0,497	29,82	1,7892
Silber	107,93	1	107,93	1,118	67,08	4,0448
Wasserstoff	1,01	1	1,008	0,0103	0,618	0,03708
Zink	65,4	2	32,7	0,338	20,28	1,2168

Chlor	6,92 ccm
Sauerstoff	3,46
Wasserstoff	6,92
Knallgas	10,38

22. Elektromotorische Kraft von Thermoelementen.

E = Elektromotorische Kraft in $\frac{1}{1000}$ Volt bei einer Temperaturdifferenz zwischen 0° und 100°.

	E		E
Wismuth—Neusilber	5,62	Wismuth—Zink	7,43
—Platin	7,02	—Eisen	8,35
—Kupfer	7,42	—Antimon	10,08

Hat die eine Lötstelle die Temperatur des schmelzenden Eises, die andere die Temperatur t^0, so ist die elektromotorische Kraft in $\frac{1}{1000}$ Volt gegeben durch die Gleichung

Silber—Eisen . . .	$E =$	$0{,}03887\,t - 0{,}000086\,9\,t^2$
Silber—Zink	$E =$	$-0{,}00353\,t + 0{,}000026\,3\,t^2$
Kupfer—Eisen . . .	$E =$	$0{,}01117\,t - 0{,}000018\,8\,t^2$
Platin—Blei	$E =$	$0{,}00100\,t + 0{,}000054\,3\,t^2$

Ist e die in 10^{-6} Volt gemessene elektromotorische Kraft des von Le Chatelier zur Messung heißer Temperaturen vorgeschlagenen Thermoelementes aus Platin und einer Legierung von 1 Teil Platin und 10 Teilen Rhodium, so ist die Temperatur t der heißen Lötstelle, wenn die andere in schmelzendem Eis sich befindet, gegeben durch

$$t = 13{,}76\,e - 0{,}004841\,e^2 + 0{,}000001378\,e^3.$$

23. Permeabilität von Eisen.

Ampèrewindungen	Gußeisen	Schmiedeeisen	Stahl
10	184	960	1080
20	200	576	600
30	165	408	421

Stichwörterverzeichnis.

A

Abhängigkeit der Beleuchtung von der Entfernung der Lichtquelle und vom Einfallswinkel II, 39.
— der Tonhöhe von der Geschwindigkeit der Schallquelle I, 125.
— — von der Temperatur I, 122.
— des Siedepunktes vom Druck I, 144.
Abkühlung durch Ausdehnung der Gase I, 156.
Ablenkung der Magnetnadel durch den elektrischen Strom II, 203.
— Minimum der Ablenkung der Lichtstrahlen durch ein Prisma II, 59.
Absolute elektromagnetische Einheit der Stromstärke II, 200, 251.
Absolute Festigkeit (Zugfestigkeit) I, 40, 165.
Absorption der Lichtstrahlen. Feste und flüssige Körper II, 74.
— — Gasförmige Körper II, 74.
— der infraroten Strahlen II, 79.
— der Wärmestrahlen I, 162.
Absorptionsspektrum II, 74.
Abstimmung elektrischer Schwingungen II, 292.
Abstoßung elektrischer Ströme II, 256.
— elektrostatische II, 126.
— magnetische II, 102.
Abweichung, sphärische II, 55.
Abzweigung elektrischer Ströme, siehe Stromverzweigung.
Achromatische Linsen II, 62.
— Prismen II, 62.
— Systeme II, 62.
Achse, magnetische II, 102.
Adiabatisch I, 156.
Änderung der Tonhöhe durch Bewegung der Schallquelle I, 125.
— des Aggregatzustandes I. 138 und folgende.
Äquivalent, mechanisches, der Wärme I, 156.
Äquivalentgewicht verschiedener Stoffe II, 212, 344.
Äther, elektrische Entzündung II, 182.
— Verdampfungswärme I, 154.
Äther- und Alkoholdampf, spezifisches Gewicht I, 92.
Äußere Charakteristik einer Dynamomaschine II, 310.
Äußerer und innerer Widerstand eines Stromkreises II, 217.
Aggregatzustände, Änderung derselben I, 138 u. folg.
Akkommodation des Auges II, 95.
Akkumulatoren beim Laden und Entladen II, 238.
— für galvanische Elektrizität II, 213.
— für Reibungselektrizität II, 151.
Akustik I, 99.
Alkohol, Gefrieren 1, 155.
Allotrope Umwandlung I, 141.
Alphabet, Morse- II, 269.
Aluminiumanode II, 210.
Amalgam an der Reibungselektrisiermaschine II, 130.
— Erzeugung durch Elektrolyse II, 194.
— Schmelzpunkt I, 139.
Ammonium-Amalgam II, 195.
Ampère (Einheit der Stromstärke) II, 200, 251.
Ampèremeter II, 205.
Ampèresche Schwimmerregel II, 203.
Ampèresches Gestell II, 253.
Ampèrewindungszahl II, 250.
— Beziehung zur Polstärke II, 263.
Amplitude (Schwingungsweite) I, 34, 101. II, 206.
Analysator II, 90.
— geradsichtiger II, 92.
Aneroidbarometer, Nachprüfung I, 86.
Anion II, 193.
Anker II, 108.
— Trommelanker II, 295.
— Doppel-T-Anker II, 301.

Anker, Spannungsverlust II, 300.
Ankerrückwirkung, Definition II, 310.
— eines Nebenschlußmotors II, 316.
Ankerwickelung II, 296.
Ankerwiderstand, Bestimmung desselben II, 298, 310.
Anlaßwiderstand II, 308.
Anode II, 193.
— Aluminiumanode II, 210.
— des sekundären Stromes II, 285.
Anordnung der Elektrizität auf Leitern II, 135.
— (Schaltung) galvanischer Elemente II, 218.
— — von Kondensatoren II, 154.
Ansammlungsapparate, siehe Akkumulatoren.
Antikathode II, 289.
Anziehung elektrischer Ströme II, 256.
— elektrostatische II, 126.
— magnetische II, 102.
Aperiodisch II, 207.
Apertur II, 64.
Aplanate II, 56.
Arbeit bei der Verlängerung einer Spiralfeder I, 46.
— Entwicklung von Wärme durch Arbeit I, 156.
— (mechanische) und elektrische Energie II, 182.
Arbeitsleistung von belebten Motoren (Menschen) I, 53.
Archimedisches Prinzip für Flüssigkeiten I, 61.
— für Gase (Auftrieb) I, 91.
Aronscher Elektrizitätszähler II, 318.
Astasierungsmagnet II, 207.
Astatischer Stromleiter II, 256.
Astatisches Nadelpaar II, 103.
Astigmatismus II, 56, 96.
Astronomisches Fernrohr II, 64.
Atomgewichte II, 344.
Atwoodsche Fallmaschine I, 27.
Auftrieb in Flüssigkeiten I, 60.
— in Gasen I, 91.
Auge II, 95.
Augenlinse (Brechungsverhältnis) II, 334.
Augenort II, 65.
Ausblasen des Funkens II, 291.
Ausbreitung des Lichtes II, 34 u. folg.
Ausdehnung, Abkühlung durch Ausdehnung der Gase I, 156.
— des Wassers beim Gefrieren I, 139.
— einer Spiralfeder, Eichung I, 44.
— fester Körper durch Wärme I, 129.
— kubische, durch Wärme I, 169.
— lineare, durch Wärme I, 169.
— scheinbare, der Luft I, 134.
Ausdehnung von Flüssigkeiten durch Wärme I, 131.
— von Gasen durch Wärme I, 134.
Ausdehnung und Zusammenpressung der Gase, Temperaturänderung durch — I, 156.
Ausdehnungskoeffizient eines Gases I, 134.
— eines Messing- oder Glasrohres I, 131.
— Tabelle I, 169.
— von Flüssigkeiten I, 132.
Ausfließen von Flüssigkeiten durch eine Öffnung in dünner Wand I, 67.
— — durch Röhren I, 68.
— von Gasen aus einer Öffnung in dünner Wand I, 94.
Ausflußgeschwindigkeit I, 66.
— verschiedener Flüssigkeiten I, 68.
— von Gasen I, 94, 95.
Auslader (Entlader) II, 150.
Außerordentlicher Strahl II, 91.
Azetylenlampe II, 35.
— Lichtstärke derselben II, 334.

B

Ballistisches Galvanometer II, 207.
Bäuche und Knoten in Pfeifen I, 117.
— in Saiten und Stäben I, 121.
— von Longitudinalwellen einer Spiralfeder I, 100.
— von Transversalwellen eines Seiles I, 101.
Bau (molekularer) eines Magnetes II, 107.
Barometer, Herstellung desselben I, 86.
— Aneroidbarometer I, 86.
Baryumplatinzyanür II, 289.
Batterie, elektrostatische II, 151.
— galvanischer Elemente II, 189.
— sekundäre (Akkumulatoren) II, 213.
Beißzange I, 5.
Belastung eines Motors II, 315.
— eines Transformators II, 326.
Beleuchtung, Tabelle II, 334.
Beleuchtungsstärke, Abhängigkeit von der Entfernung II, 39.
— Abhängigkeit vom Einfallswinkel II, 39.
— Messung von Beleuchtungsstärken II, 40.
— Vergleich farbiger Lichtquellen II, 40.
Beobachtungsfehler II, 4.
Berührungselektrizität II, 186.
Beschleunigung des freien Falles I, 29.

Beugung des Lichtes II, 85.
— der Wasserwellen I, 107.
Beugungsspektrum II, 89.
Beweglichkeit der Ionen in unendlicher Verdünnung bei 18° II, 344.
Bewegung durch Differenz spezifischer Gewichte I, 92.
— eines Magnetes unter dem Einfluß eines Stromes II, 260.
— eines Stromleiters II, 252—256.
— gleichförmig-beschleunigte I, 32.
— gleichförmige I, 28.
— im magnetischen Kraftfeld II, 112.
— infolge von Kapillarwirkung I, 74.
— ungleichförmig-beschleunigte I, 32.
Bewegungen, graphische Untersuchung von Bewegungen I, 31.
— Zusammensetzung von Bewegungen I, 32.
Biegen von Eisen und Messing I, 7.
— von Glas I, 13.
Biegungselastizität I, 41.
— graphische Untersuchung derselben I, 42.
Biegungspfeil I, 41.
Bifilare Wicklung (induktionsfreier Widerstand) II, 279.
Bild durch kleine Öffnungen (Camera obscura), II, 34.
Bilder einer sphärischen Linse II, 53.
— einer Zylinderlinse II, 57.
— eines ebenen Spiegels II, 41.
— eines Hohlspiegels II, 44.
— eines Konvexspiegels II, 45.
Bildpunkt II, 45.
Bildumkehrung (Umkehrlinse) II, 66.
Bildwölbung II, 56.
Blasebalg I, 12.
Blattdynamometer I, 43.
Blechflöte I, 110.
Blechschere I, 5.
Bleiakkumulatoren II, 213.
Bleibaum II, 194.
Blinder Fleck II, 96.
Bodendruck (Pascalsche Gefäße) I, 59.
Bogenlampe, Differentiallampe II, 271.
— Lichtstärke derselben II, 334.
— singende II, 287.
Bohnenbergersches Säulenelektroskop II, 188.
Bohrer I, 3.
Bohrknarre I, 6.
Bohrmaschine I, 6.
Bohrrolle I, 6.
Bolometer II, 225.
Boylesches Gesetz I, 84; II, 11.
Braunsches Elektrometer II, 161.
Brechung der Lichtstrahlen, Umkehrbarkeit des Weges II, 47.
Brechung der Lichtstrahlen, Brechungsgesetz II, 48.
— Brechungsquotient zwischen zwei beliebigen Substanzen II, 49.
— Doppelbrechung II, 91.
— durch ein Prisma II, 57.
— Planparallele Platten II, 48.
— Polarisation durch Brechung II, 91.
— der Wärmestrahlen II, 79.
Brechungsgesetz II, 48.
Brechungsverhältnis (Quotient), Definition II, 48.
— Bestimmung. Minimum der Ablenkung II, 59.
— — Refraktometer II, 61.
— — Totalreflexion II, 60.
— Tabelle II, 334.
— zwischen zwei beliebigen Substanzen II, 49.
Brechungswinkel II, 48.
Bremsdynamometer I, 52.
Bremsung eines Motors II, 316.
Brennflächen II, 46.
Brennlinie einer Zylinderlinse II, 57.
Brennpunkt eines Hohlspiegels II, 43.
— einer Linse II, 53.
Brennspiegel (Hohlspiegel) II, 43.
Brennweite eines Hohlspiegels II, 45.
— eines Konvexspiegels II, 46.
— von Linsen, Sammellinsen II, 54.
— von Zerstreuungslinsen II, 55.
Brückenwage I, 55.
Brücke, Wheatstonesche II, 219.
— — Modell II, 220.
— — Tabelle für diese II, 339.
Brustleier I, 3.
Bunsens Eiskalorimeter I, 151.
Bunsenelement II, 191.
— elektromotorische Kraft desselben II, 339.
Bürsten II, 297.
Bürstenverschiebung II, 310.
— eines Nebenschlußmotors II, 316.
Büschelentladung II, 171.
Bussole (Tangentenbussole) II, 204.

C

Camera lucida II, 52.
— obscura II, 34.
Cartesianischer Taucher I, 63.
Cavendish II, 3.
Centrifugalkraft I, 39.
Charakteristik, äußere II, 310.
Charakteristische Kurve einer Dynamomaschine mit Fremderregung bei geöffnetem Stromkreis II, 308.
— — bei geschlossenem Stromkreis II, 309.
— einer Hauptschlußmaschine II, 311.

Charakteristische Kurve einer Nebenschlußmaschine II, 311.
Chemische Harmonika I, 118.
Chemische (photographische) Wirkungen der Lichtstrahlen II, 80.
— des Entladungsstromes II, 181.
— des galvanischen Stromes II, 192.
Chladnische Klangfiguren I, 123.
Clarkelement II, 191.
— elektromotorische Kraft desselben II, 339.
Coulombsche Drehwage für Magnetismus II, 118.
— für Reibungselektrizität II, 141.
Coulombsches Gesetz für Elektrizität II, 138, 141.
— für Magnetismus II, 119, 122.
Crookessche Röhren II, 288.

D

Dachbund I, 43.
Dampfdruck des Wassers I, 170.
— Feuchtigkeitsmessung I, 171.
Dampfdruckerniedrigung in Lösungen I, 147.
Dämpfe, gesättigte I, 145.
— überhitzte I, 146.
Dämpfung durch den Widerstand der Luft I, 26.
— durch Induktionsströme II, 279.
— durch Reibung von Flüssigkeiten I, 69.
Dämpfungsverhältnis eines Spiegelgalvanometers II, 206.
Daniell-Element II, 189.
— elektromotorische Kraft desselben II, 339.
Darcetsche Legierung I, 138.
Dauer des elektrischen Funkens II, 158.
— des Lichteindruckes II, 99.
Deklination II, 115.
— für 1905 (Tabelle) II, 337.
Dewarsches Gefäß I, 154.
Diamagnetismus II, 267.
Dichte der Gase und Dämpfe I, 92.
— der Kraftlinien II, 112.
— elektrische II, 137.
Dichtigkeitsmaximum des Wassers I, 133.
Dickenmesser I, 19.
Dielektrika II, 130.
— Durchlässigkeit für elektrische Kraftlinien II, 165.
— Eindringen elektrischer Ladungen in Dielektrika II, 163.
— im elektrischen Kraftfeld II, 161.
Dielektrizitätskonstante II, 163.
— Tabelle II, 338.
Differentiallampe, elektrische II, 271.
Diffusion des Wasserstoffes I, 98.
Dilatometer, Fadendilatometer I, 132, 135.
— Gewichtsdilatometer I, 133, 134.
Dispersion (Farbenzerstreuung) II, 58, 67 und folg.
— Tabelle II, 335.
Dissoziation, elektrolytische II, 229.
Divergenz der Lichtstrahlen II, 53.
Doppelbrechung II, 91.
Doppelinfluenz, Prinzip der Doppelinfluenz II, 168.
Doppelpendel, elektrisches II, 127.
Doppel-T-Anker II, 301.
Doppeltbrechende Kristalle II, 336.
Dopplersches Prinzip I, 125.
Drahtlose Telegraphie II, 294.
Drechslerei I, 4.
Drehbank I, 4.
Dreherei, Metalldreherei I, 8.
Drehmoment des elektrischen Flugrades II, 174.
Drehstähle I, 4, 9.
Drehstrommotoren II, 323.
Drehung der Polarisationsebene des Lichtes II, 94, 337.
Drehungsrichtung einer Dynamomaschine II, 298.
— eines Hauptschlußmotors II, 313.
— eines Nebenschlußmotors II, 313.
Drehwage, Coulombsche, für Magnetismus II, 118.
— — für Reibungselektrizität II, 141.
Dreieckschaltung II, 323.
Dreiphasenstrom II, 322.
Dreifingerregel, Linke-Hand-Regel II, 252.
— Rechte-Hand-Regel II, 275.
Dreizack I, 4.
Drillbohrer I, 6.
Drillung (Torsion) I, 46.
Drillungswinkel I, 47.
Druck des Wasserdampfes beim Siedepunkt I, 145.
— Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten I, 66.
— gesättigter Dämpfe I, 145.
— in einer Flüssigkeit, seitlicher Druck I, 59.
— — von oben nach unten I, 59.
— — von unten nach oben I, 60.
— in Seifenblasen I, 81.
— Luftdruck, Abhängigkeit von der Höhe I, 86.
— verdichteter Luft, Messung desselben I, 88.
Druckkoeffizient der Gase I, 136.
Dulong-Petitsches Gesetz I, 152, 169.

Dunkelkammer (Camera obscura) II, 34.
Durchbiegung eines Stabes I, 41.
Durchlässigkeit dünner Häutchen I, 98.
Durchschlag I, 5.
Durtonleiter I, 168.
Dynamomaschine, siehe Hauptschlußmaschine.
— siehe Nebenschlußmaschine.
— mit Fremderregung; charakteristische Kurve bei geöffnetem Stromkreis II, 308.
— — bei geschlossenem Stromkreis II, 309.
— für Wechselstrom II, 322.
Dynamometer, Blattdynamometer I, 43.
— Bremsdynamometer I, 52.
— Elektrodynamometer II, 257.
— Federdynamometer I, 44.
— Pendeldynamometer I, 21.

E

Ebener Spiegel II, 41.
Ebonit, Bearbeiten desselben I, 11.
Effekt I, 53.
— der Hauptschlußmaschine II, 305, 317.
— der magnetelektrischen Maschine II, 301.
— der Nebenschlußmaschine II, 306, 317.
— des galvanischen Stromes II, 258.
Eichung einer Gasuhr I, 95.
— einer Spiralfeder I, 44.
— einer Tangentenbussole II, 204.
— eines Galvanometers mit beweglichem Rahmen II, 208.
— eines Goldblattelektroskopes II, 132.
— eines Spiegelgalvanometers II, 237.
Einfaches und zusammengesetztes Licht II, 67.
Einfallslot II, 48.
Einfallswinkel, Einfluß auf die Beleuchtungsstärke II, 39.
— Einfluß auf die reflektierte Lichtmenge II, 42.
Einfalls- und Brechungswinkel II, 48.
— und Reflexionswinkel für einen ebenen Spiegel II, 40.
— — für einen Hohlspiegel II, 43.
— — für einen Konvexspiegel II, 45.
Einphasenstrom II, 322.
Einheit der Feldstärke II, 251.
— der elektrischen Stromstärke, Ampère II, 200, 251.
— des elektrischen Widerstandes, Ohm II, 214.
Eisen, Permeabilitat II, 110, 266, 345.
Eiskalorimeter I, 151.
Eispunkt (Nullpunkt) des Quecksilberthermometers I, 127.
Elastische Körper, Stoß I, 55.
— Nachwirkung I, 41.
Elastische Schwingungen einer Spirale I, 99.
— eines Stahlstreifens I, 104, 114.
Elastischer Storchschnabel I, 44.
Elastizität, Tabelle I, 165.
Elastizitätsgrenze I, 47.
— Tabelle I, 165.
Elastizitätsmodul I, 165.
Elektrische Abstoßung II, 127.
— Anziehung II, 126.
— Differentiallampe II, 271.
— Energie II, 182.
— — Abhängigkeit von der Elektrizitätsmenge II, 185.
— — vom Potential II, 185.
— — von der Kapazität II, 186.
— Glühlampe, Lichtstärke derselben II, 334.
— Kapazität II, 152.
— Klingel II, 268.
— Ladung, Eindringen in Dielektrika II, 163.
— Leitfähigkeit, ihre Definition II, 224.
— — der Kohle II, 342.
— — von Elektrolyten II, 228, 343.
— — von Metallen, Tabelle II, 342.
— Schwingungen II, 290.
— — Abstimmung (Resonanz) II, 292.
— Telegraphie II, 269.
— — ohne Draht II, 294.
Elektrischer Effekt II, 258.
— Funken, Dauer desselben II, 158.
— — mechanische Wirkungen II, 158.
— — Schlagweite II, 156, 338.
— — Elektrizitätsmenge II, 157.
— Strom (Entladungsstrom) II, 177.
— Wind II, 173.
— — Kraft desselben II, 174.
Elektrisches Doppelpendel II, 127.
— Flugrad II, 173.
— Glockenspiel II, 183.
— Kraftfeld, Kraftlinien II, 142.
— — Niveauflächen II, 144.
— — Verhalten der Dielektrika in demselben II, 161.
— — Wirkung von Spitzen in demselben II, 171.
— Licht, Lichtstärke II, 334.
— Pendel II, 126.
Elektrisiermaschine, Holtzsche Influenzmaschine II, 169.
— Reibungselektrisiermaschine II, 130.

Elektrisiermaschine, selbsterregende Influenzmaschine, II, 171.
— Wasserinfluenzmaschine II, 165.
Elektrisierung II, 125.
Elektrizität, Eindringen in Dielektrika II, 163.
— Entladung durch Flammen II, 175.
— Erkennung der Art II, 127.
— freie Elektrizität in Flammen II, 176.
— gleichzeitige Erregung beider Elektrizitäten II, 133.
— positive und negative 127.
— Umwandlung in Licht II, 294.
— Verteilung II, 135.
— Sitz in Kondensatoren II, 151.
Elektrizitätsgrad auf einem Leiter II, 142.
Elektrizitätsmenge II, 132.
— Beziehung zur elektrischen Energie II, 185.
— eines Funkens II, 157.
— Schaltung von Kondensatoren auf sie II, 155.
— Verhältnis zur Tropfenzahl der Wasserinfluenzmaschine II, 168.
Elektrizitätszähler von Aron II, 318.
— von Thomson-Houston II, 317.
Elektrochemisches Äquivalent II, 200.
— Tabelle II, 344.
Elektroden II, 189, 193.
— polarisierbare und unpolarisierbare II, 209.
Elektrodenlose Vakuumröhren II, 294.
Elektrodynamometer II, 257.
Elektrolyse II, 192.
— Tabelle II, 344.
— im galvanischen Element II, 212.
— sekundäre Prozesse II, 194.
Elektrolyt II, 193.
— Leitfähigkeit, Tabelle II, 343.
— Stromwärme II, 243.
— Widerstand II, 226.
Elektrolytische Gesetze II, 199.
Elektrolytische Unterbrecher II, 285.
Elektromagnetismus II, 247 u. folg.
Elektrometer, Quadrantenelektrometer II, 160.
— Braunsches Elektrometer II, 161.
Elektromotor, siehe Hauptschlußmotor.
— magnetelektrische Maschine II, 312.
— mechanische Leistung I, 53.
— mit Fremderregung, Leerlauf II, 313.
— Energieverluste beim Leerlauf II, 314.
— Drehstrommotor II, 323.
— siehe Nebenschlußmotor.
Elektromotorische Kraft der Entladungsströme II, 177.
— der Extraströme II, 278.
— der magnetelektrischen Maschine II, 298, 300.
— des Induktionsstromes II, 273, 277.
— Einheit (Volt) II, 218.
— galvanischer Elemente II, 339.
— Gegenkraft II, 210.
— Methoden zur Messung II, 234.
— von Konzentrationsketten II, 236.
— von Thermoelementen II, 245, 344.
Elektrophor II, 165.
Elektroskop, Bohnenbergersches II, 188.
— Eichung II, 132.
— Einfluß des Gehäuses II, 148.
— Entladungselektroskop II, 179.
— Herstellung II, 128.
— mit Kondensator II, 159.
Elektroskopisches Pulver zur Erkennung der Art der Elektrizität II, 127.
Elektrotechnik II, 295 u. folg.
Elektrostatik II, 125 und folg.
Element, galvanisches II, 189, 339.
— — innerer Widerstand II, 230.
— — Polarisation und Elektrolyse II, 212.
— — Schaltung der Elemente II, 218.
— Normalelemente II, 191, 339.
— Schalenelement II, 231.
— schwimmendes II, 254.
— sekundäres II, 209.
— thermoelektrisches II, 245.
— Voltasches II, 187.
Emission. Glühende, feste und flüssige Körper II, 73.
— Leuchtende Dämpfe und Gase II, 73.
Emissionswinkel II, 39.
Empfänger (Schreiber) eines Morsetelegraphen II, 270.
Empfindliche Flammen I, 108.
Empfindlichkeit einer Wage I, 26.
— eines Blattdynamometers I, 44.
— eines Galvanometers mit Astasierungsmagnet II, 207.
— eines Galvanoskopes II, 205.
— eines Manometers mit zwei Flüssigkeiten I, 91.
— von Thermometern I, 128.
Energie der Bewegung, Umwandlung in elektrische Energie II, 298.
— elektrische II, 182, 184.
— — Umwandlung in Wärme II, 184.
— — Abhängigkeit vom Potential II, 185.
— — — von der Elektrizitätsmenge II, 185.

Energie, elektrische, Abhängigkeit von der Kapazität II, 186.
Energieverluste beim Leerlauf eines Motors II, 314.
Entladen eines Akkumulators II, 238.
Entlader II, 150.
Entladetisch II, 158.
Entladung, elektrische, durch Flammen II, 175.
— siehe Entladungserscheinungen in Gasen.
— in verdünnter Luft II, 338.
— Wärmewirkungen II, 181.
Entladungselektroskop II, 179.
Entladungserscheinungen in Gasen. Geisslersche Röhren II, 287.
— Kathodenstrahlen II, 288.
— Röntgenstrahlen II, 289.
Entladungsströme II, 177.
— Chemische Wirkungen II, 181.
— Magnetische Wirkungen II, 180.
— Wärmewirkungen II, 181.
Entmagnetisierungskurven II, 265.
Erdbeschleunigung, freier Fall I, 27.
— mathematisches Pendel I, 34.
— Tabelle I, 165.
Erdinduktion II, 276.
Erdmagnetisches Kraftfeld, Kraftlinien II, 110.
— und Kraftfeld eines Stromes II, 249.
Erdmagnetismus II, 113.
— Einfluß auf unmagnetisches Eisen II, 125.
— Einwirkung auf Stromleiter II, 253.
— Tabelle für 1905, II, 337.
— Messung der Horizontalkomponente II, 123.
Erniedrigung des Gefrierpunktes durch Druck I, 139.
— in Lösungen I, 140.
— und Dissoziation II, 229.
Erregerstrom II, 309.
Erregerwiderstand II, 306.
Extrapolation II, 24.
Extrastrom II, 278.

F

Fadendilatometer I, 132, 135.
Fadenkreuz II, 66.
Fadentelephon I, 109.
Fall auf der schiefen Ebene I, 29.
— freier I, 27.
— — graphische Untersuchung I, 32.
Fallbeschleunigung, siehe Erdbeschleunigung.
Fallen eines Tropfens I, 76.
Fallmaschine I, 27.
Fallräume I, 27.
Fall- und Steighöhe I, 34.
Fallzeit I, 27.
Fangdraht (Telegraphie ohne Draht) II, 295.
Faradays elektrolytische Gesetze II, 199.
Farben der Körper II, 75.
— dünner Blättchen II, 81.
— homogene II, 58.
— komplementäre II, 70.
— Zusammensetzung II, 70.
Farbenlehre II, 67 u. folg.
Farbenringe durch Interferenz in elektrolytisch erhaltenen Schichten II, 241.
— — in Kristallen II, 94.
— — in Luftschichten II, 81.
Farbenzerstreuung II, 58.
— in einigen Gläsern II, 385.
Farbige Lichtquellen II, 40.
Fassonhobel I, 3.
Fata Morgana II, 51.
Federdynamometer I, 44.
Fehler der Linsen II, 55.
Feilkloben I, 4.
Feld, elektrisches, Kraftlinien II, 142.
— — Niveauflächen II, 144.
— — Verhalten der Dielectrica in demselben II, 161.
— — Wirkung der Spitzen in demselben II, 171.
Feldmagnet II, 303.
Feldregulierwiderstand II, 306.
Feldstärke, magnetische, Beziehung zur Ampèrewindungszahl II, 263.
— Einheit II, 251.
Fernmesser, Mönnichs II, 280.
Fernpunkt II, 95.
Fernrohr, astronomisches II, 64.
— Galileisches II, 66.
— terrestrisches II, 66.
— Prismenfernrohr II, 67.
Fernsprecher (Telephon) II, 286.
Feste Körper, Mechanik der festen Körper I, 19.
— Ausdehnung durch Wärme I, 129.
Festigkeit, Zug- I, 40.
— Tabelle I, 165.
— Biegungs- I, 41.
Fettfleckphotometer II, 38.
Feuchtigkeitsmessung I, 150.
— Tabelle I, 171.
Fieberthermometer I, 128.
Fiedelbogen I, 6.
Figuren von Lissajous I, 103.
— experimentelle Darstellung I, 104.
— optische Beobachtung I, 104.

Fixieren von Zeichnungen I, 32.
Fixpunkte des Quecksilberthermometers I, 127.
— thermometrische Fixpunkte verschiedener Stoffe I, 168.
Flächenmessungen I, 20.
Flammen, empfindliche I, 108.
— manometrische I, 107.
— singende I, 118.
— Entladung durch Flammen II, 175.
— freie Elektrizität in Flammen II, 176.
Flasche, Leydener II, 150.
Flaschenelement II, 190.
Flaschenzug, Reibung am I, 55.
Fleck, blinder II, 96.
Fließen des galvanischen Stromes II, 187.
Flintglas, Tabelle der optischen Konstanten II, 335.
Flugrad, elektrisches II, 173.
Fluoreszenz II, 75.
— Kathodenstrahlen II, 289.
Flüssige Körper I, 58.
Flüssigkeit, Druck in einer Flüssigkeit I, 59.
Flüssigkeitsreibung I, 68.
Flüssigkeitsrheostaten II, 217.
Fokusröhren II, 289.
Folgepunkte II, 104, 105.
Formieren der Akkumulatoren II, 214.
Formveränderung elastischer Körper beim Stoße I, 56.
— einer Seifenblase I, 82.
Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten nach allen Richtungen I, 66.
— des Lichtes, geradlinige II, 34.
— des Tones I, 109.
— von Kräften I, 56.
— von Wellen an der Oberfläche des Wassers I, 105.
Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft I, 111.
— — in Gasen I, 119.
— — Tabelle I, 167.
— der Longitudinalwellen I, 99.
— der Transversalwellen I, 101.
Foucaultscher Pendelversuch II, 3.
— Wärme II, 314.
Franklinsche Tafel II, 150.
Fraunhofersche Linien II, 72, 76, 81.
— Brechungsverhältnisse II, 334.
— im Photogramm II, 81.
— ultraviolette Strahlen II, 76.
— Wellenlängen derselben II, 336.
Freie Elektrizität in Flammen II, 176.
Freie Oberflächen von Flüssigkeiten I, 58.
Freier Fall I, 27.
Freier Fall, graphische Untersuchung I, 32.
Fremderregung, Dynamomaschine mit Fremderregung II, 304.
Fresnelscher Spiegelversuch II, 82.
Funke (elektrischer), Dauer desselben II, 158.
— Elektrizitätsmenge II, 157.
— mechanische Wirkungen II, 158.
— Öffnungs- und Schließungsfunke II, 284.
— Schlagweite II, 156, 338.
Funkeninduktoren II, 282.
Funktionen mit mehreren Veränderlichen II, 29.
Funktionsbegriff II, 1.
Futter I, 4, 8.

G

Galileisches Fernrohr II, 66.
Galileis Thermoskop I, 134.
Galvanische Elemente II, 189.
— elektromotorische Kraft derselben, Tabelle II, 339.
— Elektrolyse in ihnen II, 212.
— Schaltung, II, 218.
— Zusammenhang des chemischen und des elektrischen Vorgangs II, 211.
Galvanische Polarisation II, 209.
— — in Elementen II, 212.
— Vergoldung II, 197.
— Verkupferung II, 197.
— Vernickelung II, 198.
— Versilberung II, 197.
Galvanischer Strom II, 187.
Galvanismus (Berührungselektrizität) II, 186.
Galvanometer II, 205.
— aperiodisches II, 207.
— ballistisches II, 207.
— Hitzdrahtgalvanometer II, 319.
— mit beweglichem Rahmen II, 207.
— Widerstand desselben II, 226.
— Eichung eines Spiegelgalvanometers II, 237.
Galvanoplastik II, 196.
Galvanoskop II, 205.
Gasatmosphäre, Einfluß auf die Verdampfung I, 146.
Gasbeleuchtung, Lichtstärke II, 334.
Gase I, 84.
— Ausdehnungskoeffizient I, 134.
— Ausströmen aus einer Öffnung in dünner Wand I, 94.
— Druckkoeffizient I, 136.
— siehe Entladungserscheinungen in Gasen.
— spezifische Wärme der — I, 170.

Gase, Zustandsgleichung I, 136.
Gasreaktionsrad I, 93.
Gasreibung I, 95.
Gasuhr, Eichung I, 95.
Gebläsetisch I, 12.
Gebrauchselemente II, 339.
Gedackte Pfeifen I, 116.
Gefrierpunkt des Quecksilberthermometers I, 127.
— (Schmelzpunkt) verschiedener Stoffe, Tabelle I, 168.
Gefrierpunktserniedrigung durch Druck I, 139.
— in Lösungen I, 140.
— und Dissoziation II, 229.
Gefrierverzug (Unterkühlung) I, 140.
Gegendruck des Sandes I, 61.
Gegenseitige Übertragung zweier Pendelschwingungen I, 105.
Gegenseitige Wirkung zweier magnetischer Kräfte II, 116, 119, 120, 122.
— — zweier Stromleiter II, 256.
Gehör I, 124.
Geisslersche Röhren II, 287.
— Spektralröhre II, 73.
Geographischer Meridian II, 115.
Geometrischer Schatten I, 107. II, 35.
Geradlinige Ausbreitung der Kathodenstrahlen II, 288.
— Fortpflanzung des Lichtes II, 34.
Geradliniger Strom, Kraftfeld II, 247.
Geradlinig polarisiertes Licht II, 90.
Geradsichtiger Analysator II, 92.
Geradsichtiges Prisma II, 71.
Gesättigte Dämpfe I, 145.
Geschwindigkeit des Schalles, s. Fortpflanzungsgeschwindigkeit.
Gesichtsfeld eines Fernrohres II, 64.
Gewicht, spezifisches, siehe spezifisches Gewicht.
Gewichtsdilatometer I, 133, 134.
Gewichtsverlust eines Körpers in Flüssigkeiten I, 61.
— in Gasen I, 91.
Gewicht und Masse I, 29.
Gewindebohrer I, 7.
Geysir I, 145.
Gitterkonstante II, 89.
Gitterspektrum II, 89.
Gläser, optische Konstanten II, 335.
Glasblasen I, 12.
Glaselektrizität II, 127.
Glasschneiden I, 12.
Glasstopfen, festgesetzte I, 17.
Glastrog I, 163.
Gleiche Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten nach allen Richtungen I, 66.
Gleichgewicht auf der schiefen Ebene I, 50, 51.
— der Flüssigkeiten I, 58 u. folg.
— der Gase 1, 84 u. folg.
— der Kräfte I, 21.
— indifferentes I, 24.
— labiles I. 24.
— stabiles I, 25.
Gleichseitige Hyperbel II, 26.
Gleichstrom, Verwandlung von Wechselstrom in Gleichstrom II, 211.
Gleitende Reibung I, 50, 51.
Glockenmagnet II, 207.
Glockenspiel, elektrisches II, 183.
Glühlampe (elektrische), Lichtstärke II, 334.
Glühlampenwiderstand II, 217.
Goldblattelektroskop, Eichung II, 132.
— Einfluß des Gehäuses II, 148.
— Herstellung II, 128.
— mit Kondensator II, 159.
Goldlack I, 11.
Goniometer II, 42, 65.
Gouy-Element II, 192.
— seine elektrom. Kraft II, 339.
Grammescher Ring II, 302.
Graphische Behandlung der beobachteten Zahlen II, 16.
— Bestimmung der Tonhöhe I, 114.
— Darstellung von Schwebungen I, 116.
— Untersuchung der Biegungselastizität I, 42.
— — der Verlängerung einer Spiralfeder I, 45.
— — des freien Falles I, 32.
— — von Bewegungen I, 31.
— — von Pendelschwingungen I, 35.
Grenzwinkel der totalen Reflexion II, 50.
Groveelement II, 191.
— elektromotorische Kraft desselben II, 339.

H

Halbanker II, 109, 267.
Halbdurchlässige Membranen I, 83.
Halbschatten II, 36.
Hammer, magnetischer II, 268.
Handbohrer I, 3.
Handdrehstähle I, 9.
Hand-Regel, Linke- II, 252.
— Rechte- II, 275.
Handsäge I, 1.
Harmonika, chemische I, 118.
Harzelektrizität II, 127.
Hauptbrechungsverhältnis II, 336.
Hauptlagen eines Magnetes II, 121.
Hauptschlußmaschine II, 303.

Hauptschlußmaschine, charakteristische Kurve II, 311.
— Wirkungsgrad II, 317.
Hauptschlußmotor, Drehungsrichtung II, 313.
— Verhalten bei zunehmender Belastung II, 315.
Hebelarme, ihr Verhältnis an der Wage I, 26.
Heber I, 58,
Hefnerkerze II, 39.
Heiße Temperatur, kalorimetrische Bestimmung I, 152.
— — Schätzung I, 168.
Helligkeit farbiger Lichtquellen II, 40.
Heronsbrunnen I, 91.
Hintereinanderschaltung von Elementen II, 218.
— von Kondensatoren II, 155.
Hitzdrahtgalvanometer II, 319.
Hobel I, 2, 3.
Hobelbank I, 1.
Hochgespannte Ströme II, 292.
Hohlspiegel II, 43, 44.
Holtzsche Influenzmaschine II, 169.
Homogene Farben II, 58.
Homogenes Kraftfeld II, 109.
— — des Erdmagnetismus II, 113.
Horizontaler Wurf I, 33.
Horizontalkomponente des Erdmagnetismus II, 123.
— — für 1905, Tabelle II, 338.
Höfe um Sonne und Mond II, 88.
Hufeisenmagnet, Untersuchung seines Kraftfeldes II, 266.
Hydraulischer Widder I, 68.
Hydraulisches Mikrophon I, 70.
Hyperbel II, 24.
Hypothesenbildung II, 28.
Hysteresis, Einfluß auf die Energieverluste eines Motors II, 314.

I

Immersion II, 64.
Impedanz II, 293.
Indifferenzpunkt eines Magnetes II, 102.
Induktion, Abhängigkeit vom Winkel II, 280.
— — von der Entfernung II, 276.
— — von der Kraftlinienzahl II, 277.
— Dämpfung durch sie II, 279.
— Erdinduktion II, 276.
— Magnetinduktion II, 274.
— Selbstinduktion II, 277.
Voltainduktion II, 271.
Induktionsapparate II, 281, 282.
Induktionsfreier Widerstand II, 279.
Induktionskoeffizient, Definition II, 273.
— Abhängigkeit von der Entfernung der Spulen II, 276.
— — vom Winkel II, 281.
Induzierter Strom II, 272.
— — Intensität und elektromotorische Kraft II, 273.
— — Richtung II, 274, 275.
Influenz, elektrostatische II, 144.
— magnetische II, 103.
Influenzmaschine, Holtzsche II, 169.
— sebsterregende II, 171.
— Wasserinfluenzmaschine II, 165.
Influenzelektrizität I. und II. Art, II, 145.
Infrarote Strahlen II, 77.
Inklination II, 115.
— für 1905, Tabelle II, 337.
Inklinatorium II, 116.
Innerer Widerstand eines Elementes II, 230.
Intensität des Erdmagnetismus II, 124.
— — — für 1905, Tabelle II, 338.
— des elektrischen Stromes, Einheit II, 200.
— des Induktionsstromes II, 273.
— des Lichtes (Lichtstärke) II, 39.
Interferenz durch Beugung II, 85.
— Farben dünner Blättchen II, 81.
— Fresnelscher Spiegelversuch II, 82.
— reflektierter Wasserwellen I, 106.
— von polarisiertem Licht II, 94.
Interferenzröhren (Quincke) I, 112.
Interpolation II, 27.
Jodkaliumstärkepapier II, 181.
Ionen II, 193.
— Beweglichkeit der Ionen II, 344.
— Gefärbte Ionen II, 230.
Ionenwanderung II, 193, 229.
Joulesche Wärme (Stromwärme) II, 242.
Isochrone Schwingungen I, 101, 105.
— stroboskopische Beobachtung I, 113.
Isolatoren II, 130.
— Widerstand derselben II, 342.

K

Kälteerzeugung durch Verdampfung I, 154.
Kältemischung I, 152.
Kalibrieren eines Thermometerrohres I, 126.
Kalorie I, 151.
Kalorimeter I, 150, 151.
Kalorimeterspirale II, 241.
Kalorimetrische Bestimmung einer heißen Temperatur I, 152.

Kaltmeißel I, 5.
Kapazität, elekrische II, 152.
Kapazität, Beziehung zur elektrischen Energie II, 186.
— Einfluß auf das Funkenbild II, 291.
— Vergleich von Kapazitäten II, 153.
Kapillardepression I, 77.
Kapillarität zwischen zwei Platten I, 77.
Kapillarröhren I, 76.
Kapillarwirkung, Bewegung infolge von Kapillarwirkung I, 74.
Kapsel, manometrische I, 107.
Kaskadenbatterie II, 155.
Kathode II, 193.
— einer sekundären Spule II, 285.
Kathodenstrahlen II, 288.
Kation II, 193.
Kautschukschlauch, Transversalwellen I, 100.
— Zusammenziehung eines Kautschukschlauches durch Wärme I, 130.
Kegelkonduktor II, 137.
Kernschatten II, 36.
Kirchhoffsche Gesetze II, 220.
Klangfarbe des Klaviers I, 124.
Klangfiguren, Chladnische I, 123.
Klavier, Klangfarbe I, 124.
Klebewachs I, 18.
Klemmen für Tischlerei I, 8.
Klemmenspannung eines Elementes II, 234.
— der magnetelektrischen Maschine II, 298.
Klingel, elektrische II, 268.
Knallgasvoltameter II, 198.
Knoten, siehe Bäuche und Knoten.
Koeffizient der Ausdehnung durch Wärme, siehe Ausdehnungskoeffizient
— der inneren Reibung von Flüssigkeiten, Tabelle I, 167.
— der Reibung fester Körper I, 51.
— — Tabelle I, 165.
— Transformationskoeffizient II, 326.
Körner I, 6.
Körperfarben II, 75.
Körperinhalte, Messung I, 20.
Körperliches Sehen II, 97.
Koerzitivkraft II, 104.
— Einfluß der Stromstärke II, 266.
Kohärer II, 294.
Kohle, elektr. Leitfähigkeit II, 342.
Kohlensäureschnee I, 155.
Koinzidenzen, Methode der Koinzidenzen I, 35.
Kollektor II, 296.
Kollektorplatte II, 160.
Kollimatorrohr II, 65.
Kommunizierende Gefäße I, 58.
Kommutatoren II, 201.
Kompensationsmethode II, 235.
Kompensierung der Ausdehnung I, 134.
Komplementärfarben II, 70.
Kondensator II, 150.
— Goldblattelektroskop mit Kondensator II, 159.
— im Funkeninduktor II, 283.
— Schaltung von Kondensatoren II, 154.
— Sitz der Elektrizität in Kondensatoren II, 151.
Kondensatorplatte II, 160.
Konduktor, Kegelkonduktor II, 137.
— Kugelkonduktor II, 132.
— Zylinderkonduktor II, 144.
Konisches Pendel I, 36.
Konjugierte Punkte II, 44, 53.
Konkavlinse, siehe Zerstreuungslinse.
Konkavspiegel, siehe Hohlspiegel.
Konstante Elemente II, 189, 191.
— — elektromotorische Kraft derselben II, 339.
Konvergenz der Lichtstrahlen II, 53.
Konvexlinse, siehe Sammellinse.
Konvexspiegel, Gang der Lichtstrahlen II, 45.
— Bilder II, 45.
— Bestimmung der Brennweite II, 46.
Konzentrationsketten II, 231.
— elektromotorische Kraft derselben II, 236.
Kopernikus II, 3.
Korkbohrer I, 4.
Korrektion thermometrischer Fixpunkte I, 168.
Kraft des elektrischen Windes II, 174.
— elektromotorische, eines Entladungsstromes II, 177.
— — eines galvanischen Stromes II, 187.
— — Methoden zur Messung II, 234.
— Fortpflanzung von Kräften I, 56.
— Masse und Beschleunigung I, 29.
— Richtung I, 21.
— zwischen zwei magnetischen Feldern II, 261.
Kräfte, gegenseitige Wirkung magnetischer Kräfte II, 116.
— parallele I, 22, 23.
— Wägung magnetischer Kräfte II, 120.
Kräfteparallelogramm I, 21.
Kräftepaar, Drehmoment I, 47.
Kraftfeld, Bewegungen im magnetischen Kraftfeld II, 112.
— eines geradlinigen Stromes II, 247.
— eines Hufeisenmagnetes II, 266.

Kraftfeld, eines Kreisstromes II, 248.
— eines Solenoides II, 250.
— elektrisches, Kraftlinien II, 142.
— siehe Dielektrika.
— siehe Spitzenwirkung.
— erdmagnetisches, II, 110, 113.
— homogenes II, 109.
— magnetisches II, 109.
Kraftfluß II, 112.
Kraftlinien permanenter Magnete II, 108.
— — beeinflußt durch weiches Eisen II, 110.
— elektrische, unter dem Einfluß influenzierter Leiter II, 148.
Kraftlinienzahl der von einem Pol ausgehenden Kraftlinien II, 120.
— im elektrischen Kraftfeld II, 144.
— Maximum II, 255.
— Permeabilität II, 266.
Kraftröhre II, 112, 120.
Kraftströmung II, 112.
Kreisbewegung I, 39.
Kreisstrom II, 248.
Kristalle, doppeltbrechende II, 91.
— Wachsen I, 143.
— Wärmeleitung I, 160.
Kristallisation I, 143.
Kronglas, optische Konstante II, 335.
Krümmung des Bildes, siehe Bildwölbung.
— einer Seifenblase I, 82.
Kubische Ausdehnung durch Wärme I, 133, 134, 169.
Künstliche Magnete. Herstellung II, 104.
Kugelkonduktor II, 132.
Kugelphotometer II, 38.
Kundtsche Röhre I, 119.
Kupfervoltameter II, 198.
Kurzschluß II, 212.
— einer Ankerspule II, 311.
Kurzsichtig II, 95.

L

Labiles und stabiles Gleichgewicht I, 24.
Lackieren I, 10.
Laden und Entladen eines Akkumulators II, 238.
— eines Elektroskopes II, 130.
Ladungen (elektrische), Eindringen in Dielektrika II, 163.
Leclanchéelement II, 191.
— elektromotorische Kraft desselben II, 339.
Leerlauf II, 300.
— eines Motors mit Fremderreguug II, 313.
Leerlauf, Energieverluste beim Leerlauf II, 314.
Legierungen, elektrische Leitfähigkeit II, 342.
— Schmelzpunkt I, 138.
Leidenfrostscher Versuch I, 161.
Leim I, 18.
Leiter der Elektrizität II, 129.
— der Wärme I, 158.
— Elektrizitätsgrad auf einem Leiter II, 142.
Leitfähigkeit der Metalle II, 342.
— der Legierungen II, 342.
— der Kohle II, 342.
— elektrische, Einheit derselben II, 224.
— — molekulare II, 228.
— — spezifische II, 228.
— — von Elektrolyten II, 343.
— für Wärme I, 158.
— magnetische II, 266.
Lenzsches Gesetz II, 275.
Leydener Flasche II, 150.
— — zerlegbare II, 151.
— — zum Nachweis elektrischer Schwingungen II, 291.
Licht, einfaches und zusammengesetztes II, 67.
— elektrisches (Beleuchtung) II, 334.
— polarisiertes II, 90.
Lichtarten II, 334.
Lichtbogen, singender II, 287.
Lichteindruck, Dauer II, 99.
Lichteinheit II, 39, 40.
Lichtmenge, reflektierte II, 42.
— — Einfluß auf zusammengesetzte Farben II, 71.
Lichtquellen, farbige II, 40.
Lichtstärke II, 39.
— verschiedener Lichtarten II, 334.
Lichtstrahlen, Gang derselben in Linsen II, 52.
— photographische Wirkung derselben II, 80.
— Umwandlung in Strahlen von andrer Brechbarkeit II, 76.
— Wärmewirkung derselben II, 77.
Lichtwellen II, 83.
Lineare Ausdehnung durch Wärme I, 131.
— Tabelle I, 169.
Linke-Hand-Regel II, 252.
Linsen, achromatische II, 62.
— des menschlichen Auges II, 334.
— Fehler der Linsen II, 55.
— sphärische II, 52.
— Zylinderlinsen II, 57.
Linsenformel II, 16, 53, 54.
Linsensystem II, 54.

Lissajoussche Figuren I, 103.
— experimentelle Darstellung I, 104.
— optische Beobachtung I, 104.
Locheisen I, 5.
Lochsirene I, 113.
Longitudinalwellen einer Spiralfeder I, 99.
— in Pfeifen I, 116.
— in Saiten und Stäben I, 121.
Löslichkeit des Natriumsulfates bei verschiedenen Temperaturen I, 142.
Lösungswärme I, 152.
Löten I, 11.
Lötkolben I, 11.
Lötwasser I, 11.
Luft, scheinbare Ausdehnung I, 134.
— spezifisches Gewicht I, 92.
— spezifische Wärme I, 157.
— Widerstand I, 95.
— — Messung desselben I, 96.
— Zusammenpressung und Ausdehnung I, 156.
Luftatmosphäre, Einfluß auf die Verdampfung I, 146.
Luftdruck, Abhängigkeit von der Höhe I, 86.
Luftkondensator II, 164.
Luftspiegelung (Fata Morgana) II, 51.
Luftströmung I, 161.
Lufttthermometer von Rieß II, 184.
Lupe II, 62.
Lux II, 40.

M

Magazin, magnetisches II, 111.
Magnet, Elektromagnet II, 264.
— molekularer Bau II, 107.
— natürlicher II, 102.
— Wirkung auf einen Stromleiter II, 251—255.
— Wirkung eines Stromes auf einen Magnet II, 260.
Magneteisenstein II, 102.
Magnetelektrische Maschine mit Trommelanker II, 295.
— mit Grammeschem Ring II, 302.
— mit Zylinderinduktor II, 301.
— elektromotorische Kraft und Klemmenspannung II, 298.
— Abhängigkeit der elektromotorischen Kraft von der Umdrehungszahl II, 300.
— — von der Stärke des Magnetfeldes II, 300.
— Nutzeffekt und Wirkungsgrad II, 301.
Magnete, permanente II, 102.
— — Kraftlinien II, 108.
Magnete, permanente, Kraftlinien, beeinflußt durch weiches Eisen II, 110.
Magnetfeld II, 109.
— der Erde II, 110.
Magnetinduktion II, 274.
Magnetische Abstoßung II, 102.
— Achse II, 102.
— Anziehung II, 102.
— Kräfte, gegenseitige Wirkung II, 116.
— — Wägung derselben II, 120, 261
— Kraftlinien II, 110.
— Leitfähigkeit II, 266.
— Scheibe II, 250. 255.
— Wirkungen des Entladungsstromes II, 180.
Magnetischer Hammer am Induktionsapparat II, 268.
— Meridian II, 115.
Magnetisches Magazin II, 111.
— Moment II, 102.
— — Bestimmung desselben II, 124.
Magnetisierung durch Influenz II, 103.
Magnetisierungskurven II, 264.
Magnetisierungslinien II, 251.
Magnetisierungsmethoden II, 104.
Magnetisierungsspirale II, 105, 264.
Magnetismus II, 102 u. folg.
— Einfluß der Temperatur II, 104.
— Elektro- II, 263.
— remanenter II, 104, 264.
Magnetismusmenge II, 119.
Magnetnadel II, 105.
— Ablenkung durch den Strom II, 203.
— astatische II, 103.
Magnetometer II, 105.
Magnetpole, gegenseitige Wirkung zweier Magnetpole II, 116.
Magnetstab, Wirkung auf eine Magnetnadel II, 120, 122.
Manometer, geschlossenes I, 87.
— mit zwei Flüssigkeiten I, 90.
— Quecksilbermanometer I, 87.
— Wassermanometer I, 59, 88.
Manometrische Flamme I, 107.
— Kapsel I, 108.
Marineleim I, 18.
Mariottesche Flasche I, 60.
Mariotte-(Boyle)sches Gesetz I, 84.
Maskelyne II, 3.
Masse, Kraft, Beschleunigung I, 29.
— und Gewicht I, 29.
Maßflasche II, 155.
Mathematisches Pendel I, 33.
Mattscheibenphotometer II, 36.
Maximalwert des elektrischen Wirkungsgrades II, 301.

Maximum der Dichtigkeit des Wassers I, 133.
— der Kraftlinienzahl II, 255.
Mechanik der festen Körper I, 19.
— der gasförmigen Körper I, 84.
— der flüssigen Körper I, 58.
Mechanisches Äquivalent der Wärme I, 156.
Mechanische Arbeit und elektrische Energie II, 182.
— Wirkung der Kathodenstahlen II, 289.
— Wirkung des elektrischen Funkens II, 158.
Mehrphasenstrom II, 322.
Meidingersches Element II, 190.
Meißel I, 5.
Mellonische Thermosäule II, 247.
Membran, halbdurchlässige I, 83.
Meniskus I, 82.
Menschliche Stimme I, 124.
Meridian, geographischer II, 115.
— magnetischer II, 115.
Meridiankurven II, 113.
Messinglack I, 11.
Messung der Horizontalkomponente des Erdmagnetismus II, 123.
— der Kraft zwischen zwei magnetischen Feldern durch Wägung II, 261.
— der Oberflächenspannung I, 75, 80.
— der Wellenlänge von Tönen I, 119.
— — des Lichtes durch Beugung II, 88.
— — — Fresnelscher Spiegelversuch II, 84.
— des Druckes verdichteter Luft I, 88.
— des Erdmagnetismus II, 123.
— des Widerstandes der Luft I, 96.
— elektromotorischer Kräfte II, 234.
— von Dicken, Flächen, Körperinhalten I, 19, 20.
— von elektrischen Widerständen II, 221, 226.
Metalldreherei I, 8.
Metalle, elektrische Leitfähigkeit II, 342.
Metallsäge I, 5.
Meterkerze II, 40.
Meyer, Victor I, 92.
Mho II, 224.
Mikrometer I, 19.
Mikrophon II, 286.
— hydraulisches I, 70.
Mikroskop II, 63.
Minimum der Ablenkung II, 59.
Mischungsmethode I, 150.
Mischungstemperatur I, 150.
Molekulare Leitfähigkeit II, 228.
Mole II, 228.
Molekularer Bau eines Magnetes II, 107, 264.
Moment, magnetisches II, 102.
— — Bestimmung desselben II, 124.
Momente, Summe der statischen Momente I, 23.
Mönnichs Fernmesser II, 280.
Monochord I, 120.
Morsealphabet II, 269.
Morseschreiber II, 270.
Motor, siehe Elektromotor.
Motore, belebte I, 53.
Motorunterbrecher II, 283.
Multiplikator II, 204.
Muttern I, 7.
Myopie (Kurzsichtigkeit) II, 95.

N

Nachahmung der Entladung durch Flammen II, 176.
— der Tropfenbildung I, 75.
Nachbilder II, 100.
Nachleuchten II, 77.
Nachprüfung eines Aneroidbarometers I, 86.
Nachwirkung, elastische I, 41.
Nahpunkt II, 95.
Natriumamalgam II, 194.
Natriumflamme II, 73.
Natürliche Farben (Körperfarben) II, 75.
— Magnete II, 102.
Naturwissenschaftliche Zahlen II, 4.
Nebelbildung I, 149.
Nebelkerne I, 150.
Nebeneinanderschaltung von Elementen II, 218.
— von Kondensatoren II, 155.
Nebenregenbogen II, 70.
Nebenschlußmaschine mit Trommelanker II, 305.
— charakteristische Kurve II, 311.
Nebenschlußmotor, Drehungsrichtung II, 313.
— Ankerrückwirkung II, 316.
— Bremsung II, 316.
— Regulierung der Umdrehungsgeschwindigkeit II, 316.
— Verhalten bei zunehmender Belastung II, 315.
— Wirkungsgrad II, 316.
Negative Elektrizität II, 127.
— Elektrode II, 193.
— — eines sekundären Stromes II, 285.
Nernstlampe, Lichtstärke derselben II, 334.

Newtonsche Farbenringe II, 81.
Nichtleiter und Leiter der Elektrizität II, 129.
Nicolsches Prisma II, 92.
Niveauflächen II, 144.
Niveaulinien II, 238.
— Abhängigkeit von der Leitfähigkeit II, 240.
— in körperlichen Leitern II, 240.
Nörrembergs Polarisationsapparat II, 92.
Nonius I, 20.
Nordpol, magnetischer der Erde II, 114.
Normalelemente II, 191.
— Gebrauchsbedingung II, 192.
— elektromotorische Kraft II, 339.
Normalkerze II, 39.
Normallösung II, 229, 236.
Normalthermometer I, 128.
Normalton, Schwingungszahl I, 168.
Nullpunkt des Quecksilberthermometers I, 127.
Nutenhobel I, 3.
Nutzeffekt einer Hauptschlußmaschine II, 305.
— einer magnetelektrischen Maschine II, 301.
— einer Nebenschlußmaschine II, 306.
Nutzleitung II, 298.

O

Oberflächendichte II, 137.
Oberflächen, freie I, 58.
Oberflächenspannung I, 73.
— an gekrümmten Oberflächen I, 73.
— an der gemeinsamen Grenze zweier Flüssigkeiten von gleichem spezifischem Gewicht I, 78.
— Bewegung infolge von Kapillarwirkung I, 74.
— Einfluß der Temperatur I, 74.
— Messung derselben. Methode des Tropfengewichtes I, 75.
— — Kapillarröhren I, 76.
— — mittels Wage I, 80.
— von Flüssigkeitsgemischen wechselnder Zusammensetzung I, 78.
— an dünnen Häutchen I, 80.
Obertöne der Pfeifen I, 117.
— der Saiten I, 121.
Offene und gedackte Pfeifen I, 116.
Öffnungsfunke II, 284.
Öffnungsstrom II, 272.
Ohm, Widerstandseinheit II, 214.
Ohmsches Gesetz II, 217.
Oktaven, Bezeichnung I, 168.
Okularkreis II, 64.
Ölblasen I, 79.
Opernglas II, 66.
Optik II, 34 u. folg.
— physiologische II, 95 u. folg.
Optische Beobachtung der Lissajousschen Kurven I, 104.
— Instrumente II, 62.
— Täuschungen II, 100.
Ordentlicher Strahl II, 91.
Osmometer I, 83.

P

Palmermaß I, 19.
Parabel II, 27.
— horizontaler Wurf I, 33.
Parabelform eines Wasserstrahles I, 66.
Parallele Kräfte I, 22, 23.
Parallelismus der Schneiden einer Wage I, 26.
Parallelogramm der Kräfte I, 21.
Paramagnetismus II, 267.
Pascalsche Gefäße I, 59.
Peltiersches Phänomen II, 246.
Pendel, elektrisches II, 126, 127.
— konisches I, 36.
— mathematisches I, 33.
— physisches I, 37.
— Reversionspendel I, 37.
Pendeldynamometer I, 21.
Pendellänge, reduzierte I, 37.
Pendelschwingungen, Dämpfung durch Induktionsströme II, 279.
— gegenseitige Übertragung zweier Pendelschwingungen I, 105.
— graphische Untersuchung I, 35.
— Methode der Koinzidenzen I, 35.
Periode eines Wechselstromes II, 324.
Periodisch wechselnde Stromstärke II, 298.
Permeabilität II, 110, 266.
— Tabelle II, 345.
Petroleumlampe, Lichtstärke II, 334.
Pfeifen, Knoten und Bäuche in Pfeifen I, 117.
— offene und gedackte I, 116.
Pferdestärke I, 53.
Phase eines Wechselstromes II, 322.
Phasendifferenz I, 103.
— des Zwei- und Dreiphasenstromes II, 323.
Phosphoreszenzlicht II, 77, 288, 289.
Photographische Wirkung der Lichtstrahlen II, 80.
Photometer, Mattscheibenphotometer II, 36.
— Schattenphotometer II, 37.
— Fettfleckphotometer II, 38.

Photometer, Kugelphotometer II, 38.
Physik, Aufgabe der Physik II, 1.
— theoretische II, 31.
Physiologische Optik II, 95 u. folg.
— Wirkungen der Induktionsströme II, 282.
Physisches Pendel I, 37.
Planparallele Platten II, 48.
Platten, schwingende I, 123.
Pneumatisches Feuerzeug I, 156.
Poggendorffsche Spiegelablesung II, 43, 66.
— Wage I, 29.
Polarisation des Lichtes. Durch Reflexion II, 90.
— — Durch Brechung II, 91.
— — zirkulare II, 94.
— elektrische II, 209.
— — in galvanischen Elementen II, 212.
Polarisationsapparate II, 92, 98.
Polarisationsebene, Drehung der — II, 94, 337.
Polarisationsstrom II, 209.
Polarisationswinkel II, 91.
Polarisator II, 89.
Polarisierbare Elektroden II, 209.
Polarisiertes Licht II, 90.
— — Interferenz II, 94.
Polarisierte Seilwellen II, 89.
Polarstern II, 115.
Pole einer sekundären Spule II, 285.
— der Voltaschen Säule II, 187.
— eines Elektromagnetes II, 264.
— eines Magnetes II, 102.
Polreagenzpapier II, 195.
Polschuhe II, 109.
Polsucher II, 195.
Positive Elektrizität II, 127.
— Elektrode II, 193.
Potential II, 142.
— auf einem influenzierten Leiter II, 147.
— Beziehung zur elektrischen Energie II, 185.
— Schaltung von Kondensatoren auf Potential II, 155.
— Potentialdifferenz zur Hervorbringung von Entladungen II, 338.
Potentialdifferenzen an den Enden von Teilen des Schließungskreises II, 232.
Prinzip der Drehstrommotoren II, 323.
— der Einfachheit II, 2.
— Dopplersches I, 125.
Prisma, Brechung durch ein Prisma II, 57.
— achromatisches II, 62.
— geradsichtiges II, 71.
— Nicolsches II, 92.
Prisma, Reflexionsprisma II, 52.
Prismenfernrohr II, 67.
Probekugel und -scheibchen II, 132.
Pronyscher Zaum I, 52, II, 317.
Proportionalitätsfaktor der Tangentenbussole II, 204.
Protokoll II, 10.
Pulver, elektroskopisches II, 127.
Pyknometer I, 64.

Q

Quadrantenelektrometer II, 160.
Quarzprisma und -linse II, 76.
Quecksilbermanometer I, 87.
Quecksilberthermometer I, 127.
Quecksilberunterbrecher II, 283.
Quetschhahn I, 65.
Quinckesche Interferenzröhren I, 112.

R

Radiometer (Lichtmühle) II, 80.
Randwinkel I, 75.
Rattenschwanzfeile I, 4.
Rauchwirbel I, 97.
Reaktionswärme I, 155.
Reagenzglas, Herstellung I, 14.
Rechenschieber II, 9.
Rechte-Hand-Regel II, 275.
Reduktions-(Proportionalitäts-)Faktor der Tangentenbussole II, 204.
Reduzierte Pendellänge I, 37.
Reelle Bilder eines Hohlspiegels II, 44.
— einer Sammellinse II, 53.
Reflektierte Lichtmenge II, 42.
— Einfluß auf den Eindruck zusammengesetzter Farben II, 71.
Reflexion der Lichtstrahlen II, 40.
— der Longitudinalwellen einer Spiralfeder I, 99.
— der Transversalwellen eines Kautschukschlauches I, 101.
— der Wärmestrahlen I, 164.
— der Wellen an der Oberfläche von Wasser I, 106.
— des Schalles I, 111.
— totale II, 49.
Reflexionsgesetz für ebene Spiegel II, 40.
— für Hohl- und Konvexspiegel II, 45.
Reflexionsgoniometer, II, 42, 65.
Reflexionsprisma II, 52.
Reflexions- und Einfallswinkel eines ebenen Spiegels II, 40.
— eines Hohlspiegels II, 43.
— eines Konvexspiegels II, 45.
Refraktometer II, 61.

Regelation I, 139.
Regenbogen II, 68.
Regulierwiderstand II, 306.
Reibahle I, 7.
Reibung am Flaschenzug I, 55.
— der Ruhe und der Bewegung I, 54.
— eines Motors I, 52.
— gleitende I, 50, 51.
— von Flüssigkeiten I, 68, 167.
— von Gasen I, 95.
— von Seilen I, 54.
— wälzende I, 51, 52.
— zusammengesetzte I, 53.
Reibungselektrisiermaschine II, 130.
Reibungskoeffizient I, 50.
— Tabelle I, 165.
— der inneren Reibung von Flüssigkeiten, Tabelle I, 167.
Reitstock I, 4,
Relative Feuchtigkeit I, 150.
Remanenter Magnetismus II, 104, 264.
Resonanz von Pendelschwingungen I, 105.
— von Schallwellen I, 123.
— elektrischer Schwingungen II, 292.
Resonator I, 124.
Resultante I, 24.
Reversionspendel I, 37.
Rheostaten II, 214.
— mit Brückenschaltung II, 222.
Richtung einer Kraft I, 21.
— des Induktionsstromes II, 275.
Richtungsmoment I, 38.
— eines astatischen Nadelpaares II, 103.
Rieß, Lufttthermometer II, 184.
Ringanker (Grammescher Ring) II, 302.
Ringe, Newtonsche II, 81.
— (Rauchwirbel) I, 97.
— Wirbelringe in Flüssigkeiten I, 97.
Ringmagnet (Galvanometer) II, 207.
Robervalsche Wage I, 26.
Röntgenstrahlen II, 289.
Rollen, Reibung von Seilen auf I, 54.
Rotation eines Stromleiters unter dem Einfluß eines Magnetes II, 254.
— von Magneten unter dem Einfluß eines Stromes II, 260.
Rotationspolarisation II, 94.
Rotgluttemperatur I, 168.
Rotierender Spiegel I, 108, II, 284.
Rückstoß beim Ausströmen von Flüssigkeiten (Segnersches Wasserrad) I, 61.
— von Gasen (Gasreaktionsrad) I, 93.
Rühmkorffscher Induktionsapparat II, 282.
— Stromwender II, 202.
Ruhe, Reibung der I, 54.
Rundhobel I, 3.

S

Säge I, 1.
Sättigung eines Magnetes II, 265.
Säule, trockene II, 188.
— Voltasche II, 188.
— Thermosäule II, 246.
Saiten, Longitudinalschwingungen I, 121.
— Transversalschwingungen I, 120.
Sammellinsen, Brennpunkt II, 53.
— Bilder II, 53.
— Gang der Lichtstrahlen II, 52.
— Vergrößerung II, 54.
— Bestimmung von Brennweiten II, 54.
Sanduhr I, 66.
Saugheber I, 58.
Saugkämme II, 169.
Schalenelement II, 231.
Schall I, 99.
Schallfeldabsucher I, 109.
Schallfortpflanzung I, 109.
Schallgeschwindigkeit I, 111.
— Tabelle I, 167.
Schaltung der Elemente II, 218.
— der Kondensatoren II, 154.
— von Widerständen II, 224.
Schatten II, 35.
— durch Kathodenstrahlen II, 289.
Schattenphotometer II, 37.
Scheibe, magnetische II, 250, 255.
Scheinbare Ausdehnung der Luft I, 134.
Schiefe Ebene, Fall I, 29.
— Gleichgewicht unter Berücksichtigung der Reibung I, 51.
Schirmwirkung, elektrostatische II, 149.
— magnetische II, 108.
Schlagweite des Funkens durch Luft von atmosphärischem Druck II, 156.
— Tabelle II, 338.
Schleifringe II, 323.
Schlichthobel I, 2.
Schließungs- und Öffnungsfunken II, 284.
Schließungsstrom, sekundärer, und Öffnungsstrom II, 272.
Schlittenapparat II, 281.
Schlosserei I, 4.
Schmelzpunkt I, 138.
— Bestimmung durch ein Thermoelement II, 245.
— Tabelle I, 169.
— Volumenveränderung beim Schmelzpunkte I, 139.

Schmelzpunkt von Legierungen I, 138.
Schmelzwärme des Eises I, 152.
— Tabelle I, 169.
Schneiden einer Wage I, 26.
Schneiden von Glas I, 12.
Schnittbrenner I, 13.
Schnitzelbank I, 2.
Schnitzmesser (Schnittemesser) I, 2.
Schraubengewinde I, 7.
Schraubenkluppe I, 7.
Schraubenspindel I, 7.
Schraubstock I, 4.
Schreiber des Telegraphen II, 270.
Schreinerei I, 1.
Schublehre I, 19.
Schwalbenschwanzbrenner I, 13.
Schwebungen I, 115.
— der singenden Flamme I, 118.
— graphische Darstellung I, 116.
Schwerlinien I, 24.
Schwerpunkt I, 24.
Schwimmen eines Körpers I, 62.
— spezifisch schwererer Körper auf Wasser I, 74.
Schwimmendes Element II, 254.
Schwimmerregel, Ampères II, 203.
Schwingungen, siehe Dämpfung.
— einer Magnetnadel unter dem Einfluß eines Magnetes II, 117.
— elektrische II, 290.
— isochrone I, 105.
— — stroboskopische Beobachtung derselben I, 113.
— longitudinale, einer Spiralfeder I, 99.
— — in Pfeifen I, 116.
— — in Saiten und Stäben I, 121.
— tönender Körper I, 107.
— Torsions- I, 48.
— Zusammensetzung zweier I, 102.
— — rechtwinkliger I, 102.
Schwingungsamplitude, Einfluß der Dämpfung I, 35.
— eines Spiegelgalvanometers II, 206.
Schwingungsdauer eines Pendels, Abhängigkeit von der Masse und dem Stoff des schwingenden Körpers I, 34.
— — graphische Bestimmung I, 35.
— elektrischer Schwingungen II, 292.
Schwingungsfiguren, Lissajoussche I, 103, 104.
Schwingungsknoten und Bäuche I, 100, 101.
— in Pfeifen I, 117.
— in der Kundtschen Röhre I, 119.
— in Saiten und Stäben I, 121.
Schwingungsphase I, 113.
Schwingungspunkt I, 37.
Schwingungszahl des Normaltones I, 168.
Segnersches Wasserrad I, 61.
Sehen, körperliches, Stereoskop II, 97.
— Spiegelstereoskop II, 97.
— Telestereoskop II, 99.
Sehwinkel II, 35.
Seifenblasen, Druck in ihnen I, 81.
— Formveränderungen I, 82.
Seifenlösung I, 79.
Seile, Reibung I, 54.
Seilwellen, polarisierte II, 89.
— transversale I, 100.
Seitlicher Druck in Flüssigkeiten I, 59.
Sekundäre Prozesse bei der Elektrolyse II, 194.
Sekundärer Schließungs- und Öffnungsstrom II, 272.
Sekundäres Element II, 209.
Selbsterregende Influenzmaschine II, 171.
Selbstinduktion II, 277.
Selbstunterbrecher, elektrolytischer II, 285.
— magnetischer Hammer II, 268.
Selbstverstärkungsprinzip der Wasserinfluenzmaschine II, 165.
S-förmige Halter I, 40.
Siedepunkt, Abhängigkeit vom Druck I, 144.
— Druck des Wasserdampfes beim Siedepunkte I, 145.
— eines Quecksilberthermometers I, 128.
— Tabelle I, 169.
Siedepunkterhöhung in Lösungen I, 147.
— und Dissoziation II, 229.
Silbervoltameter II, 198.
Simshobel I, 3.
Sinuskurve I. 36.
Singende Bogenlampe II, 287.
— Flamme I, 118.
Sirene I, 113.
Solenoid, Kraftfeld II, 250.
Sonnenspektrum, photographiert II, 81.
— infraroter Teil II, 77.
— ultravioletter Teil II, 75.
Spannungsreihe (elektrostatische) II, 129.
Spannungsverlust im Anker einer magnetelektrischen Maschine II, 300.
Spektralapparate, Geradsichtiges Prisma II, 71.
— Taschenspektroskop II, 71.
— Spektrometer II, 71.
Spektralröhre II, 73.
Spektrometer II, 71.
Spektrum, siehe Sonnenspektrum.

Spektrum, Absorptions- II, 74.
— Emissions- II, 73.
— Beugungs- II, 89.
Spezifische Drehung der Polarisationsebene, Tabelle II, 337.
— Gewichte, Bewegung durch Differenz derselben I, 92.
— Leitfähigkeit II, 228.
Spezifischer Widerstand II, 224.
Spezifisches Gewicht des Leuchtgases, Berechnung durch Oberflächenspannung I, 82.
— fester Körper I, 63.
— — Tabelle I, 166.
— flüssiger Körper I, 64.
— — Tabelle I, 166.
— von Äther- und Alkoholdampf I, 92.
— von Gasen I, 91.
— — Tabelle I, 166.
Spezifische Wärme I, 150.
— der Luft I, 157.
— Tabelle I, 169.
— und Stromwärme in Elektrolyten II, 243.
Sphärische Abweichung II, 55.
Spiegel, ebener II, 41.
— Hohl- II, 43.
— Konvex- II, 45.
— rotierender I, 108, II, 284.
Spiegelablesung (Poggendorffsche) II, 43. 66.
— Tabelle II, 333.
Spiegelgalvanometer II, 206.
— Eichung II, 237.
Spiegelstereoskop II, 97.
Spiegelversuch, Fresnelscher II, 82.
Spiralbohrer I, 9.
Spiralfeder, Herstellung I, 10.
— Eichung I, 44, II, 21.
— graphische Untersuchung der Verlängerung als Funktion der Belastung I, 45.
— Longitudinalwellen I, 99.
Spiritusglühlicht, Lichtstärke II, 334.
Spitzbohrer I, 9.
Spitzenwirkung im elektrischen Kraftfeld II, 171.
Springbrunnen mit zwei Flüssigkeiten I, 66.
Stabiles und labiles Gleichgewicht, I, 24.
Stabmagnetismus II, 102.
Stahlmagnete, Herstellung II, 104.
Statische Momente, Summe I, 23.
Staubfiguren, elektrische II, 143.
— Kundtsche I, 119.
Stehauf I, 25.
Stehende Wellen auf der Oberfläche des Wassers I, 107.
Steighöhe und Druckhöhe eines Springbrunnens I, 66.
— und Fallhöhe I, 34.
Stemmeisen I, 3.
Stereoskop II, 97.
Sternschaltung II, 323.
Stimme, menschliche I, 124.
Stimmgabel, Interferenzerscheinungen der — I, 122.
Stöpselrheostat II, 215.
Storchschnabel, elastischer I, 44,
Stoß elastischer Körper I, 55.
Stoßheber (hydraulischer Widder) I, 68.
Strahl, ordentlicher und außerordentlicher II, 91.
Strahlung der Wärme I, 162.
Streuung II, 303.
Stroboskopische Beobachtung des Wasserstrahles I, 72.
— — isochroner Schwingungen I, 113.
Stroboskopische Scheibe als Umdrehungszähler einer Dynamomaschine II, 307.
Strom, Entladungsstrom II, 177.
— galvanischer II, 187.
— hochgespannter II, 292.
— induzierter II, 272.
— Ein-, Zwei- und Dreiphasenstrom II, 322.
Stromlinien II, 238.
— Abhängigkeit von der Leitfähigkeit II, 240.
Stromstärke, Einheit II, 200, 251.
— des Entladungsstromes II, 178.
— eines Wechselstromes II, 321.
Strömung der Luft und des Wassers I, 161.
— in körperlichen Leitern II, 240.
Stromverzweigung II, 218.
Stromwage II, 262.
Stromwärme, Abhängigkeit von der Zeit II, 241.
— — von der Stromstärke II, 242.
— — vom Widerstande II, 242.
— Wärmeäquivalent der elektrischen Energie II, 243.
— in Elektrolyten. Spezifische Wärme. II, 243.
Stromwender II, 200.
Sublimation, Kristallisation durch sie I, 143.
Substitutionsmethode, Widerstandsmessung II, 221.
Südmagnetismus der Erde II, 114.
Summe der statischen Momente I, 23.
Support I, 8.

T

Tachometer II, 307.
Täuschungen, optische II, 100.
Tafelwage I, 26.
Tangentenbussole II, 204.
T-Anker II, 301.
Taschenspektroskop II, 71.
Taster II, 201.
Taucher, Cartesianischer I, 63.
Taupunkt I, 150.
Telegraphie, elektrische II, 269.
— ohne Draht II, 294.
Telegraphische Zeichen II, 269.
Telephon II, 286.
— Fadentelephon I, 109.
Telestereoskop II, 99.
Temperatur, heiße, kalorimetrische Bestimmung I, 152.
— — Schätzung, Tabelle I, 168.
— Messung durch Mönnichs Fernmesser II, 281.
— Messung durch ein Thermoelement II, 245.
Temperaturempfindung I, 126.
Temperaturkoeffizient eines Widerstandes, Tabelle II, 342.
Terrestrisches Fernrohr II, 66.
Theaterfernrohr (Opernglas) II, 66.
Theoretische Physik II, 31.
Thermoelektrizität II, 244.
Thermoelement II, 244, 245.
— elektromotor. Kraft derselben, Tabelle II, 344.
Thermometer, Herstellung I, 126.
— Vergleich von Thermometern I, 128, II, 18.
Thermometrische Fixpunkte, Tabelle I, 168.
Thermosäule (Mellonische) II, 246.
Thermoskop, Galileis I, 134.
Thermostat I, 128.
Thomson-Houstonscher Elektrizitätszähler II, 317.
Tischlerei I, 1.
Tönende Körper, Schwingungen I, 107.
Tonhöhe, Abhängigkeit von der Temperatur I, 122.
— — von der Geschwindigkeit der Schallquelle I, 125.
— Bestimmung der Tonhöhe einer Sirene I, 113.
— — einer Saite I, 120.
— graphische Bestimmung I, 114.
Torsion I, 46, II, 19.
Torsionsmoment I, 47.
Torsionspendel I, 49.
Torsionsschwingungen I, 48.
Torsionswinkel I, 48, II, 19.
Totaleffekt II, 301.
Totalintensität des Erdmagnetismus II, 124.
Totalreflexion II, 49.
Tourenzähler (Umdrehungszähler) II, 306.
Trägheitsmoment, Bestimmung I, 49.
— beim physischen Pendel I, 38.
Tränen des Weines I, 78.
Transformationskoeffizient II, 326.
Transformator II, 293.
— Herstellung II, 324.
— sein Verhalten II, 325.
Transversalschwingungen eines Schlauches I, 100.
— eines gespannten Fadens I, 101.
— von Platten I, 123.
— von Saiten I, 120.
— von Stäben I, 122.
Trocknen von Gasen I, 85.
Trockne Säule II, 188.
Trommelanker als Hauptschlußmaschine II, 303.
— als magnetelektrische Maschine II, 295.
— als Motor II, 312.
— als Nebenschlußmaschine II, 305.
Tropfenbildung, Oberflächenspannung bei der Tropfenbildung I, 71.
— Nachahmung I, 75.
Tropfengewicht I, 75.
T-Stück, Herstellung I, 16.
Turmalinzange II, 93.

U

Überhitzter Dampf I, 146.
Überhitzung des Wassers I, 148.
— verschiedener Flüssigkeiten I, 148.
Übersättigung I, 142.
Überschmelzung (Unterkühlung) I, 140.
Übersichtig II, 95.
Uhr, Sanduhr I, 66.
Ultraviolette Strahlen II, 75.
Umdrehungsgeschwindigkeit eines Nebenschlußmotors, Regulierung derselben II, 316.
Umdrehungszähler II, 306.
Umkehrbarkeit des Weges gebrochener Lichtstrahlen II, 47.
Umkehrlinse II, 66.
Umschalter II, 200.
Umwandlung der Energie der Bewegung in elektrische Energie II, 298.
— von Elektrizität in Licht II, 294.
— von Lichtstrahlen in solche von anderer Wellenlänge II, 76.

Ungleichförmig beschleunigte Bewegung I, 32.
Unmagnetisches Eisen, Einfluß des Erdmagnetismus II, 125.
Unpolarisierbare Elektroden II, 209.
Unterbrecher II, 200.
— elektrolytische II, 285.
Unterkühlung I, 140.
Uviolglas II, 76, 335.

V

Vakuumröhre II, 294.
Verdampfung, Einfluß der Luft(Gas-) Atmosphäre auf sie I, 146.
— Erzeugung von Kälte durch sie I, 154.
Verdampfungsgeschwindigkeit I, 147.
Verdampfungswärme I, 153.
— Tabelle I, 169.
Verflüssigung von Ammoniak I, 155.
Vergleich von Kapazitäten II, 153.
— von Thermometern I, 128.
Vergoldung, galvanische II, 197.
Vergrößerung der Lupe II, 63.
— der Sammellinsen II, 54.
— des astronomischen Fernrohres II, 65.
— des Galileischen Fernrohres II, 67.
— des Konkavspiegels II, 45.
— des Mikroskopes II, 63.
— des terrestrischen Fernrohres II, 66.
Verhältnis der Hebelarme einer Wage I, 26.
Verhalten des Hauptschlußmotors bei zunehmender Belastung II, 315.
— des Nebenschlußmotors bei zunehmender Belastung II, 315.
— eines Transformators II, 325.
Verkupferung, galvanische II, 197.
Vernickelung, galvanische II, 198.
Versilberung, galvanische II, 197.
Verteilung der Elektrizität II, 135, 137.
Vertikaler und horizontaler Wurf I, 33.
Virtuelle Bilder II, 45.
Virtueller Brennpunkt eines Konvexspiegels II, 46.
Volt II, 218.
Voltainduktion II, 271.
Voltameter II, 198.
Voltasche Säule II, 188.
Voltasches Element II, 187.
Voltmeter II, 234.
Volumenveränderung beim Schmelzpunkte I, 139.

W

Wachsen eines Kristalles I, 143.
Wage I, 25.
— ohne Wagschalen I, 25.
Wage, Poggendorffsche Wage I, 29.
— Stromwage II, 262.
— Tafelwage I, 26.
Wagnerscher (magnetischer) Hammer I, 12; II, 268.
— — am Induktionsapparat II, 283.
Wägung magnetischer Kräfte II, 120.
Wanderung der Ionen II, 193, 229.
Wälzende Reibung I, 51, 52.
Wärme, Entwicklung durch Arbeit I, 156.
— Joulesche (Stromwärme) II, 241.
— Lösungswärme I, 152.
— Schmelzwärme des Eises I, 152.
— Reaktionswärme I, 155.
— spezifische I, 150.
— — Messung mittels der Stromwärme des galvanischen Stromes II, 243.
— — Tabelle I, 169.
— — Verhältnis der spezifischen Wärmen der Luft bei Erwärmung unter konstantem Druck und bei konstantem Volumen I, 157.
— Verdampfungswärme I, 153.
Wärmeäquivalent der elektrischen Energie II, 242.
— mechanisches I, 156.
Wärmeausdehnung fester Körper I, 129, 131.
— Tabelle I, 169.
— von Flüssigkeiten I, 131, 132, 133.
— von Gasen I, 134.
Wärmeeinheit I, 151.
Wärmeleitung I, 158.
— Tabelle I, 171.
— in Kristallen I, 160.
Wärmeleitungskoeffizient I, 159.
Wärmestrahlung I, 163.
— Abhängigkeit von der Temperatur II, 246.
— Absorption I, 162.
Wärmeübergang von einem Stoff zum andern I, 160.
Wärmewirkung der Lichtstrahlen. Infrarote Strahlen II, 77.
— des galvanischen Stromes (Stromwärme) II, 241.
— der Entladung II, 181.
Wasser, Dampfdruck, Tabelle I, 170.
— Dichtigkeitsmaximum I, 133.
Wasserkalorimeter I, 150.
Wasserinfluenzmaschine, Prinzip der einfachen Influenz II, 165.
— Prinzip der Doppelinfluenz II, 168.
Wassermanometer I, 59.
Wasserad, Segnersches I, 61.
Wasserstoff, Diffusion I, 98.
Wasserstrahl, Parabelform I, 66.
— stroboskopische Beobachtung I, 72.

Wasserströmung I, 161.
Wasserwellen I, 105.
Watt, Wattmeter II, 258.
Wechselstrom II, 195, 274.
— einer magnetelektrischen Maschine II, 298.
— hoher Spannung II, 292.
— Dynamomaschine für Wechselstrom II, 322.
— Periode II, 324.
— Phase II, 322.
— Stromstärke II, 321.
— Verwandlung in Gleichstrom II, 211.
Weitsichtig II, 95.
Wellen, an der Oberfläche des Wassers I, 105.
— Longitudinal- einer Spiralfeder I, 99.
— Lichtwellen II, 83.
— polarisierte Seilwellen II, 89.
— Transversalwellen eines Schlauches I, 100.
— — eines gespannten Fadens I, 101.
Wellenlänge, Messung der II, 88.
— Tabelle 336.
Wellenlehre I, 99.
Werkstattarbeiten I, 1.
Wertigkeit II, 344.
Westonelement II, 192.
— elektrom. Kraft desselben II, 339.
Wheatstonesche Brücke II, 219.
— Modell II, 220.
— Tabelle II, 339.
Wickeln von Spiralen I, 10.
Widder, hydraulischer I, 68.
Widerstand, äußerer und innerer II, 217.
— der Ankerwicklung II, 298, 304, 310.
— der Isolatoren II, 342.
— der Luft gegen Bewegung I, 95.
— — Messung desselben I, 96.
— elektrischer, eines Drahtes II, 221.
— — Abhängigkeit von Länge und Querschnitt II, 224.
— — Abhängigkeit von der Temperatur II, 225.
— eines Galvanometers II, 226.
— Einheit des Widerstandes II, 214.
— induktionsfreier II, 279.
— innerer eines Elementes II, 230.
— Schaltung von Widerständen II, 224.
— von Elektrolyten II, 226.
Widerstandseinheit II, 214.
Widerstandskasten II, 215.
Wind, elektrischer II, 174.
Windungszahl eines Solenoides II, 250.
Winkelgeschwindigkeit I, 39.
Winkelspiegel II, 41.
Wirbel, Rauch- I, 97.
Wirbelringe in Flüssigkeiten I, 97.
Wirbelströme II, 279.
Wirkungsgrad einer Dynamomaschine II, 317.
— einer magnetelektrischen Maschine II, 301.
— eines Flaschenzuges I, 55.
— eines Nebenschlußmotors II, 316.
Wölbung des Bildes II, 56.
Woodsches Metall I, 139.
Wurf I, 33.

Z

Zähigkeit der Oberfläche I, 75.
Zaum, Pronyscher I, 52, II, 317.
Zeichenapparate II, 52.
Zeichnungen, Fixieren von I, 32.
Zentrifugalkraft 1, 39, 40.
— maschine I, 39.
Zentrumsbohrer I, 3.
Zerlegung des zusammengesetzten Lichtes II, 67.
Zerreißen I, 42.
Zersetzung der verdünnten Schwefelsäure unter Benutzung von Aluminiumanoden II, 210.
Zerstreuungslinsen II, 54.
Zerstreuungsweite II, 55.
Zieheisen I, 7.
Ziehmesser I, 2.
Zinkbaum II, 231.
Zinnbaum, II, 231.
Zugfestigkeit I, 40.
— Tabelle I, 165.
Zurückwerfung, siehe Reflexion.
Zusammengesetzte Reibung I, 53.
Zusammengesetztes und einfaches Licht II, 67.
Zusammenpressung und Ausdehnung der Gase, Temperaturveränderung durch sie I, 156.
Zusammensetzung rechtwinkliger Schwingungen I, 102.
— von Bewegungen I, 32.
— von Farben II, 70.
— von Kräften I, 21.
— zweier Schwingungen I, 102.
Zusammenziehung des Wasserstrahles I, 67.
— eines Kautschukschlauches durch Erwärmung I, 130.
Zustandsgleichung der Gase I, 137.
Zweiachsige Kristalle II, 336.
Zweiphasenstrom II, 322.
Zylinderinduktor II, 301.
Zylinderkondensator II, 150.
Zylinderkonduktor II, 144.
Zylinderlinsen II, 56, 97.